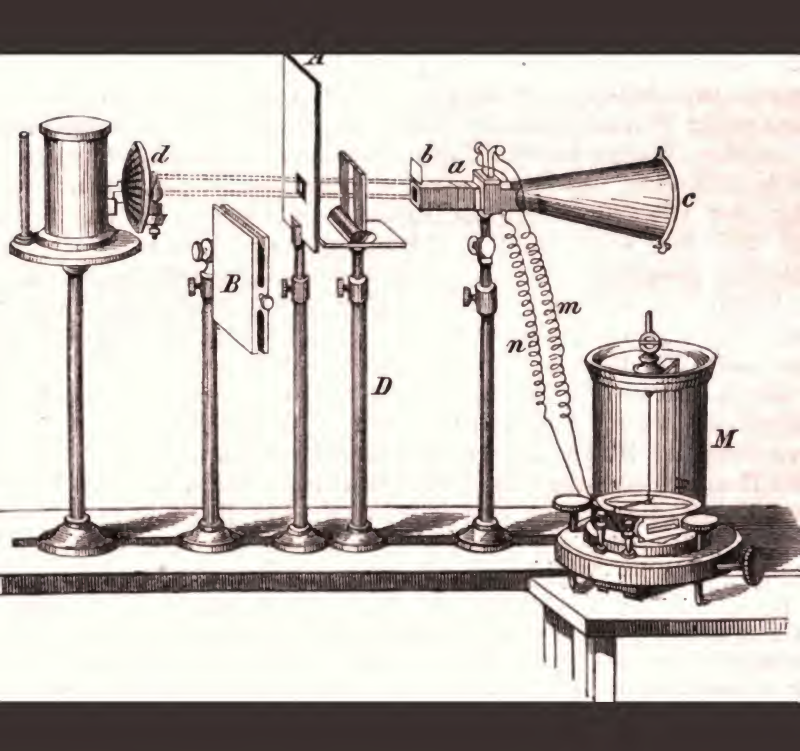


Taschenbuch der Physik

Johannes Rudolf Wagner



Taschenbuch der Physik.

Taschenbuch

der

Physik

im ausführlichen und übersichtlichen Auszuge

hauptsächlich für Studirende der Medicin

bearbeitet

von

(Johannes)

Dr. Rudolf Wagner.

Mit 329 in den Text gedruckten Holzschnitten.

Leipzig,
Renger'sche Buchhandlung.

1851.

Vorwort.

Das vorliegende Taschenbuch, zu dessen Bearbeitung ich von Herrn Professor Dr. C. E. Bock und von der Verlagshandlung veranlasst worden bin, hat den Zweck, dem Studirenden im ausführlichen und übersichtlichen Auszuge das Hauptsächlichste aus der Physik, so wie zum Theil die Art und Weise, wie die Wissenschaft zu ihren Resultaten gelangt ist, vor Augen zu führen. Es ist mir aus Erfahrung bekannt, dass physikalische Bücher, mit algebraischen Formeln ausgeschmückt, vielen meiner Commilitonen ein Gräuel sind, und dass der Anblick dieser Formeln sie schon mit Entsetzen vor derartigen Büchern erfüllt. Für diejenigen Studirenden nun, deren Lieblingsfach die Mathematik nicht ist, die aber trotzdem das Wichtigste der Lehren der Physik wissen wollen und wissen müssen, ist dieses Taschenbuch bestimmt. Dass ich alle diejenigen Theile der angewandten Physik, die von allgemeinem Interesse sind, wie die An-

wendung des Dampfes, die Benutzung der Elektricität zum Telegraphiren, die Galvanoplastik u. s. w. ausführlicher behandelte, wird mir wohl Niemand verargen. Ich bearbeitete das Taschenbuch nach den neuesten Lehr- und Handbüchern, namentlich nach denen von Baumgartner, Cornelius, Hankel, v. Ettinghausen, Pouillet, nach Simion's H[illegible]örterbuche der Physik und Chemie, nach Marbach's [illegible]n, und benutzte ferner die Jahresberichte der Berlin. phys. Gesellschaft, die von Liebig und Kopp, so wie Poggendorff's Annalen.

Die Verlagshandlung hat das ihrige dazu beigetragen, durch zahlreiche Holzschnitte und durch geschmackvolle Ausstattung das Taschenbuch seinem Zwecke entsprechend zu machen.

Leipzig, im Juni 1851.

Dr. R. Wagner.

Inhalt.

Erster Theil.

Physik der wägbaren Stoffe.

(Seite 1—198.)

Erster Abschnitt.

Von den Körpern im Allgemeinen. (S. 5—10.)

Zweiter Abschnitt.

Von den Kräften der Materie. (S. 11—16.)

Dritter Abschnitt.

Vom Gleichgewichte der Kräfte. (S. 17—30.)

Achter Abschnitt.

Von der Bewegung tropfbarer und gasförmiger Körper (*Hydrodynamik* und *Aerodynamik*). (S. 163—174.)

Neunter Abschnitt.

Von der Wellenbewegung und von den Gesetzen des Schalles. (S. 175—198.)

Zweiter Theil.

Physik der unwägbaren Stoffe.

(S. 201—488.)

Erster Abschnitt.

Von dem Magnetismus. (S. 201—222.)

Zweiter Abschnitt.

Von der Elektricität. (S. 222—330.)

Dritter Abschnitt.

Vom Lichte. (S. 331—436.)

Vierter Abschnitt.

Von der Wärme. (S. 437—488.)

Erster Theil.

Physik der wägbaren Stoffe.

Einleitung.

Die Physik ist die Wissenschaft, welche das Studium der Erscheinungen in der unorganischen Natur, bei welchen die Körper keine Veränderung in ihrer Zusammensetzung erleiden, zum Zwecke hat. Ist Natur der Inbegriff alles sinnlich Wahrnehmbaren, so ist Erscheinung ein jedes Object der Wahrnehmung. Bei jeder Erscheinung handelt es sich darum, die Gesetze, nach welchen dieselbe erfolgt, zu bestimmen und ihre Ursache anzugeben, mit andern Worten, die Erscheinungen zu erklären. Während die Aufgabe der Physiologie die ist, die Erscheinungen, welche durch das Leben bedingt werden, zu bestimmen und zu erklären, ist es die der Physik, die Erscheinungen bei den Veränderungen lebloser Körper zu erforschen. Die Physik betrachtet die Materie, die Kräfte und die Bewegung; die Chemie hingegen die Stoffe der organischen und unorganischen Natur nach ihren stöchiometrischen Beziehungen, nach ihren Verbindungen und nach ihren Veränderungen in der Mischung, bezüglich der sogenannten Verwandtschaftskräfte.

Indem man nach der Ursache einer Erscheinung forscht, findet man häufig als Grund der Erscheinungen eine andere Erscheinung, bei deren Erklärung man nach einer längeren oder kürzeren Reihe von Erscheinungen endlich bei einer Enderscheinung stehen bleibt, für welche sich kein Grund auffinden lässt. Dieses letzte Glied einer Kette von Ursachen und Wirkungen, dieses Causalprincip bezeichnet man mit dem Namen Kraft und spricht, je nach der durch dieselbe hervorgebrachten Erscheinung, von einer Anziehungskraft, einer Schwerkraft u. s. w. Die Aufgabe der Physik ist es, die Gesetze zu entdecken, nach welchen die Kräfte in der unorganischen Natur wirken.

Wenn wir die in der Natur ohne unsere Mitwirkung vor sich gehenden Erscheinungen wahrnehmen, so stellen wir eine **Beobachtung** an. Ihr Zweck ist, die Eigenthümlichkeiten der Erscheinungen, ihren Verlauf und ihre wesentlichen Bedingungen kennen zu lernen. Da aber die letzteren durch ein Zusammentreffen mannichfacher Umstände oft verhüllt werden, so ist es erforderlich, eine und dieselbe Erscheinung unter den verschiedensten Umständen zu beobachten. Diese verschiedenen Umstände werden theils von der Natur dargeboten, theils, wo es angeht, durch einen Wechsel der Verhältnisse willkürlich herbeigeführt. Letztere Art der Beobachtung heisst ein **Versuch**, ein **Experiment**. Beobachtungen und Versuche sind das Fundament und der Schlussstein aller wahren Naturforschung.

Erster Abschnitt.

Von den Körpern im Allgemeinen.

Alles, was sich unseren Sinnen als raumerfüllend darstellt, heisst Materie oder Stoff. Einen Stoff von begrenzter Ausdehnung nennt man einen Körper. Denkt man sich aus dem Raume eines Körpers die Materie hinweg, so erhält man die Vorstellung eines begrenzten leeren Raumes, eines geometrischen Körpers. Der Raum eines Körpers in Bezug auf seine Grösse betrachtet giebt uns sein Volumen, die Art der Begrenzung seine Gestalt, seine Figur. Wir unterscheiden die Körper von einander durch ihre Eigenschaften. Allgemeine Eigenschaften, die einem jeden Körper zukommen, sind folgende:

1. Ausdehnung.
2. Undurchdringlichkeit.
3. Trägheit.
4. Theilbarkeit.
5. Porosität.
6. Zusammendrückbarkeit.
7. Ausdehnbarkeit.
8. Schwere.

Ausdehnung ist die schon im Begriffe eines Körpers liegende Eigenschaft, einen Raum einzunehmen.

Mit dem Namen Undurchdringlichkeit bezeichnet man die allgemeine Eigenschaft der Körper, nach welcher zwei derselben nicht zu gleicher Zeit an ein und demselben Orte sein können. Diese Eigenschaft giebt sich dem Tastsinn durch den Widerstand kund, den die Hand beim Betasten eines Körpers erfährt.

Aus dieser Eigenschaft erklärt sich, warum in eine umgekehrt ins Wasser getauchte Glocke kein Wasser tritt. Schlägt man einen Nagel in ein Stück Holz, so macht der Nagel ein Loch und presst das Holz zusammen, um seinen Platz zu behaupten; da, wo der Nagel ist, kann natürlicher Weise kein Holz sein.

Die Trägheit oder das Beharrungsvermögen der Körper ist die Eigenschaft, den einmal angenommenen Zustand der Ruhe oder der Bewegung durch sich selbst nicht verändern zu können. Ein in Ruhe befindlicher Körper kann sich nicht von selbst in Bewegung setzen, eben so wenig kann ein in Bewegung begriffener Körper die Bewegung vernichten, oder auf irgend eine Weise (in Bezug auf die Geschwindigkeit oder die Richtung) verändern. Eine jede Veränderung des Zustandes eines Körpers kann nur durch eine von demselben verschiedene Ursache hervorgebracht werden. Diese Ursache ist entweder activ und heisst Kraft, oder passiv und heisst Hinderniss.

Bei allen auf der Erde vorkommenden Bewegungen bieten rauhe Oberfläche, oder der Widerstand der Luft oder des Wassers, in welchen sich der Körper bewegt, solche Hindernisse dar, dass eine Bewegung endlich einmal aufhören muss. Anders verhält es sich mit der Bewegung der Himmelskörper, die ewig fortdauert, da keine Hindernisse im Wege stehen. Folgende Beispiele mögen zur Erläuterung der Wirkung der Trägheit dienen. Wollte man einen Eisenbahnzug dadurch nur zum Stillstehn bringen, dass man die an der Spitze befindliche Locomotive anhält, so würden die nachfolgenden Wagen in dem Bestreben, ihre Bewegung fortzusetzen, einen gefährlichen Stoss, sowohl bezüglich der Locomotive, als auch der Wagen und der darin befindlichen Passagiere ausüben; deshalb hemmt man kurze Zeit vorher, ehe der Zug anhalten soll, die Bewegung der Wagen durch Bremsen. Die Trägheit ist auch die Ursache, weshalb Menschen, die auf einem Schiff stehen, nach vorn fallen, wenn das Schiff an's Ufer stösst.

Der Theilbarkeit zufolge können alle Körper zertheilt werden, bis wir endlich an eine Gränze kommen, bei welcher die Theilbarkeit durch die Unvollkommenheit unserer Sinne und unserer Werkzeuge aufhört. Die Theilung kann bewerkstelligt werden durch mechanische Mittel (durch Pulvern, Feilen, Schmieden etc.), durch Wärme und durch chemische Kräfte (Molekularkräfte). Ob die Theilbarkeit der Materie bis ins Unendliche fortgehen könne, darüber giebt uns weder die Erfahrung, noch eine auf haltbare Erfahrungen gestützte Theorie Aufschluss. Alles, was über diesen Gegenstand gesagt worden ist, beruht auf blosser Hypothese. Fast allgemein nimmt man an, dass die Theilbarkeit eine Gränze habe, und dass es zuletzt Theilchen gäbe, die nicht weiter getheilt wer-

den können. Diese kleinsten Theilchen nennt man Atome, Moleküle (Molekel), materielle Puncte. Beruht die Vorstellung der Atome auch nur auf Hypothese, so ist doch nicht zu leugnen, dass die atomistische Vorstellungsweise das Verständniss gewisser Erscheinungen wesentlich erleichtert.

Die Theilung kann so weit getrieben werden, dass die Theilchen weit über die Gränzen sinnlicher Unterscheidungsgabe hinausgehen; so hat Wollaston Platindraht von solcher Feinheit dargestellt, dass 140 solcher Drähte auf einander gelegt werden müssen, um die Dicke eines einzigen Coconfadens zu erhalten. Bei Versuchen über die Beugung des Lichtes zog Frauenhofer mit einem Diamant 3601 Parallellinien in ein Planglas, deren je zwei, von ihrer Mitte aus gerechnet, um 0,0001223 Pariser Zoll von einander abstanden. Wie weit die mechanische Theilung getrieben werden kann, zeigen uns die polirten Oberflächen von Metallen, Edelsteinen u. s. w., an denen unsere Sinne keine Unebenheiten wahrzunehmen vermögen, während diese Flächen doch durch Pulver hervorgebracht wurden, die aus lauter feinen Körnchen bestehen, von denen ein jedes einen seiner Grösse entsprechenden Ritz in die Oberfläche macht. Ausserordentliche Theilbarkeit zeigen ferner die Farbe- und die Riechstoffe. 1 Theil Carmin färbt 10,000 Th. Wasser noch merklich roth. Eine sehr kleine Menge Moschus kann einen grossen Raum, bei öfterem Luftwechsel, mit seinem Raume erfüllen, ohne dass der Moschus selbst an Gewicht abnimmt. — Hinsichtlich der erwähnten Ausdrücke Atom und Molekül ist zu erwähnen, dass viele Physiker zwischen denselben einen Unterschied machen. Unter Atomen verstehen sie diejenigen Theilchen, die durch keine Kraft mehr zu zerlegen oder zu verändern sind. Indem diese Atome, die von gleicher oder verschiedener materieller Beschaffenheit sein können, sich verbinden, entstehen die Moleküle, durch deren Aggregation man die Körpertheilchen oder Partikelchen erhält, zu denen man durch mechanische Theilung gelangen kann. Am einfachsten ist es, die Ausdrücke Atom und Molekül für gleichbedeutend zu nehmen.

Die Porosität ist diejenige allgemeine Eigenschaft der Körper, nach welcher die Materie, aus welcher wir die Körper bestehend denken, nicht stetig erfüllt ist. Die Körpertheilchen sind von Zwischenräumen oder Poren unterbrochen, in denen fremdartige Stoffe Platz finden können. Je nach der verschiedenartigen Natur und der Zusammensetzung der Körper bemerken wir bald grössere, bald kleinere Poren. Derjenige Raum, welcher von der Materie des Körpers wirklich erfüllt wird, ist sein wahres Volumen, der Raum, der durch die äussere Gestalt abgegrenzt wird, sein scheinbares Volumen. Zieht man von dem scheinbaren Volumen das wahre ab, so erhält man das Volumen der Poren.

Diese Poren sind theils mit blossen Augen, theils auch erst vermittelst des Mikroskopes sichtbar. So bemerken wir durch letzteres in den festen Sub-

stanzen aus dem Thier- und Pflanzenreiche eine grosse Menge der feinsten Poren. Von der Gegenwart der Poren in dichten Hölzern überzeugt man sich dadurch, dass man Quecksilber oder gefärbte Flüssigkeiten, unter Benutzung eines starken Druckes, durch dieselbe pressen kann. Vermöge der Porosität gestatten die scheinbar so dichten thierischen Häute Gasarten und Flüssigkeiten den Durchgang. Das Eindringen von Quecksilber in Metalle, das Einsaugen des Wassers in den Hydrophan unter Entwickelung von Luftblasen, das Durchdringen des Marmors von Oel und gefärbten Harzlösungen sind ebenfalls Beweise für die Porosität.

Zusammendrückbarkeit und Ausdehnbarkeit sind allgemeine Eigenschaften, nach welchen die Körper die Fähigkeit haben, sich bei unveränderter Masse in ein kleineres Volumen zusammendrücken und in ein grösseres Volumen ausdehnen zu lassen. Die Zusammendrückbarkeit lässt sich durch starken Druck nachweisen. Die Ausdehnbarkeit geht unter dem Einflusse der Wärme vor sich.

Am vollkommensten zusammendrückbar und ausdehnbar sind die Gase. Die tropfbar flüssigen Körper lassen sich nur sehr wenig zusammendrücken und dehnen sich nicht so gleichförmig aus, wie die Gase. Namentlich finden in der Nähe des Gefrier- und des Siedepunktes grössere Abweichungen statt. Für Temperaturen, welche gleichweit von diesen Punkten entfernt sind, lässt sich annehmen, dass die Ausdehnung der Erwärmung proportional sei. Für die Ausdehnbarkeit der flüssigen Körper durch die Wärme giebt uns das Thermometer das beste Beispiel. Bei festen Körpern lässt sich die Ausdehnbarkeit durch folgende Beispiele nachweisen. Eine Eisenstange, welche genau in ein Mass passt, zeigt sich beim Erwärmen länger und dicker. Eiserne Reifen zu Wagenrädern werden stark erhitzt und mithin im ausgedehnten Zustande aufgelegt; kühlt man sie sodann durch Uebergiessen mit Wasser plötzlich ab, so ziehen sie sich zusammen und binden das Holzwerk des Rades. Ein in dem Halse einer Flasche feststeckender Glasstöpsel läst sich entfernen, wenn man den Hals der Flasche erwärmt.

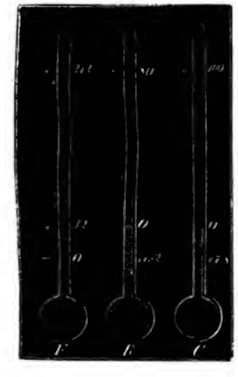
Das Instrument, welches dazu dient, den Grad der durch die Zu- und Abnahme der Temperatur bewirkten Ausdehnung eines Körpers, demnach zugleich die Temperatur selbst zu messen, heisst ein Thermometer. Handelt es sich um Temperaturen, die nicht zu hoch sind, so benutzt man als thermometrische Substanz am besten eine tropfbare Flüssigkeit. Man benutzt dazu Quecksilber und Alkohol (Weingeist), und unterscheidet Quecksilber- und Alkoholthermometer. Letzteres eignet sich zum Messen sehr niedriger Temperaturen, bei welchen das Quecksilber, nicht aber der Alkohol fest wird. Die nähere Betrachtung des Thermometers wird später folgen.

Fig. 1.



Da aber in der Folge häufig von Thermometern die Rede sein wird, so soll hier nur eine kurze Beschreibung des gewöhnlichen Thermometers Platz finden. Es besteht aus einer gläsernen engen, gut kalibrirten Röhre *a c*, an deren Ende *c* eine kleine Kugel angeblasen ist. Diese Kugel ist vollständig und die Röhre soweit mit luftfreiem Quecksilber angefüllt, dass bei mittlere Temperatur das Quecksilber bis ungefähr in die Mitte der Röhre reicht. Zur Beobachtung des Standes der Flüssigkeit in der Röhre muss dieselbe mit einer Scala versehen sein. Auf der Scale bringt man zwei fixe Punkte an, die man in eine festgesetzte Anzahl gleicher Theile (Grade) theilt. Diese fixen Punkte erhält man durch Bestimmung der Temperatur des schmelzenden Eises und der Temperatur des siedenden Wassers. Diese Punkte heissen der Eis- oder Gefrierpunkt und der Siede- oder Kochpunkt. Der Raum zwischen beiden heisst der Fundamentalabstand. In Bezug auf das Abtheilen des Fundamentalabstandes sind drei verschiedene Thermometerscalen in Gebrauch, welche die Namen ihrer Urheber Celsius, Réaumur und Fahrenheit führen. Die Scala von Celsius, auch die Centesimal- oder hunderttheilige Scala genannt, enthält zwischen dem Eis- und Kochpunkte 100 Grade; ihr Zeichen ist C. Der Eispunkt ist mit 0 bezeichnet und es werden von ihm aus nach dem Siedepunkte hin, und eben so nach der entgegengesetzten Seite, die Grade der natürlichen Zahlenreihe gemäss gezählt, so dass dem Siedepunkt der 100ste Grad entspricht. Die Grade über 0 nennt man Wärmegrade, die unter 0 Kältegrade; erstere bezeichnet man mit +, letztere mit —, und setzt hinter die Zahl, die die Grade angiebt, C; z. B. + 14° C. Réaumur's Scala enthält zwischen dem Gefrier- und Siedepunkte 80 gleiche Grade; sie hat sonst dieselbe Einrichtung, wie die vorhergehende; ihr Zeichen ist R. In Fahrenheit's Scala sind zwischen dem Gefrier- und dem Siedepunkte 180° angenommen; der Nullpunkt steht um

Fig. 2.



32° tiefer als der Gefrierpunkt, so dass dieser die Zahl 32, der Siedepunkt aber die Zahl 212° führt. Das Zeichen dieser Scala ist F. Die beigefügte Zeichnung wird das Vorstehende übersichtlich machen.

In Deutschland und Frankreich bedient man sich bei wissenschaftlichen Untersuchungen der Celsius'schen Scala, in England der Fahrenheit'schen. Bezeichnet man die Fahrenheit'schen Thermometergrade mit F, so hat man zur Verwandlung derselben in die Angaben der beiden anderen Scalen, und umgekehrt, die Gleichungen:

$$n^\circ\ F = \frac{4}{9}(n - 32)^\circ\ R = \frac{5}{9}(n - 32)^\circ\ C.$$

$$n^\circ\ C = \frac{4}{5}n^\circ\ R = (32 + \frac{9}{5}n)^\circ\ F.$$

$$n^\circ\ R = \frac{5}{4}n^\circ\ C = (32 + \frac{9}{4}n)^\circ\ F.$$

Die Schwere ist eine allgemeine Eigenschaft der Körper, welche sich in dem Bestreben äussert, zur Erde zu fallen. Sind die Körper sich selbst überlassen, so fallen sie in bestimmter Richtung zur Erde; werden sie aber durch eine Unterlage, oder dadurch, dass sie aufgehängt sind, am Fallen verhindert, so üben sie auf die Unterlage oder überhaupt auf das Hinderniss einen Druck aus.

Dem Rauche und den Wolken lässt sich eben so wenig Schwere absprechen, als man sie einem Stücke Kork oder einem Stücke Metall abspricht, weil ersteres im Wasser, letzteres im Quecksilber in die Höhe steigt. — Die Richtung der Schwere, in welcher ein Körper zur Erde fällt, oder das Bestreben hat, zu fallen, ist geradlinig und geht, verlängert gedacht, durch den Mittelpunkt der Erde. Diese Richtung heisst vertical (senkrecht, lothrecht). Eine jede dieser Richtung parallele Linie heisst eine Verticale oder ein Loth. Ein kleiner schwerer Körper, an einem Faden befestigt, kommt in der Richtung der Schwere zur Ruhe; man nennt eine solche Vorrichtung ein Bleiloth (Senkblei) und bedient sich derselben im praktischen Leben, um zu untersuchen, ob ein Gegenstand eine verticale Stellung habe, oder um Gegenständen (wie Mauern) eine verticale Richtung zu geben. Die Linie, auf welcher die Richtung der Schwere vertical steht, heisst die Horizontale. Da die Richtung der Schwere, verlängert gedacht, für alle Punkte der Erdoberfläche im Mittelpunkte der Erde zusammentrifft, so steht sie auf der Erdoberfläche vertical; man nennt dieselbe deshalb Horizontalfläche oder Horizont, und indem sie ununterbrochen (ideal) gedacht wird, Niveaufläche, Meeresfläche.

Zweiter Abschnitt.

Von den Kräften der Materie.

Die Naturerscheinungen führen uns zu der Erkenntniss, dass die kleinsten Theilchen der Körper, die Moleküle, auf einander wechselseitig bewegende Kräfte ausüben. Diese Kräfte äussern sich durch Anziehungen oder Abstossungen zwischen den Theilchen der Materie. Man stellt sich deshalb die Materie mit einer anziehenden und abstossenden Kraft begabt vor. Diejenigen Kräfte, die nur bei den kleinsten Abständen der Moleküle, gleichsam nur bei der Berührung zu wirken vermögen, nennt man Molekularkräfte, auf welchen die Erscheinungen der Mischung, der Absorption, der Auflösung u. s. w., und die chemischen Wirkungen beruhen. Andere Kräfte wirken umgekehrt auf messbare Entfernungen. Solche Kräfte nennt man fernwirkende; zu ihnen gehören die Schwerkraft, die electrischen und die magnetischen Kräfte. — Wie schon angegeben, zeigen alle Körper ein Bestreben, nach der Oberfläche der Erde zu fallen, das sich durch deren wirklichen Fall, oder durch einen Druck auf ihre Unterlage äussert. Die Ursache dieser Erscheinung schreiben wir einer Kraft zu, die man mit dem Namen Schwerkraft bezeichnet. Der Druck, den ein Körper auf seine Unterlage ausübt, heisst sein Gewicht. Dieser Druck wird durch die Schwerkraft hervorgebracht, und da diese an derselben Stelle über der Erdoberfläche gleich wirkt, so richtet sich das Gewicht nach der Menge der in einem Körper enthaltenen Massetheilchen. Um das Gewicht eines Körpers zu ermitteln, bedient man sich des bekannten Instrumenter der Wage.

Die Wage, die zu physikalischen und chemischen Versuchen angewendet wird, besteht aus einem metallenen Wagebalken, durch dessen Mitte eine mit abwärts gekehrter Schneide versehene, auf einer harten Unterlage ruhende stählerne Axe geht. An den beiden Enden des Balkens befinden sich die Schalen, die zur Aufnahme der abzuwägenden Substanz und der Gewichte dienen. Der Balken ist um die Axe herum sehr leicht beweglich. Auf demselben befindet sich ein auf- oder abwärts gerichteter Zeiger, die Zunge der Wage, welche die Stellung des Balkens bei der Belastung angiebt. Eine Wage muss empfindlich sein, d. h. der Balken muss schon bei einer sehr geringen Gewichtsveränderung auf einer Seite einen merklichen Ausschlag geben.

Als Gewicht ist das neue französische Grammengewicht eingeführt, bei welchem der Gramm (= 1 Kubikcentimeter Wasser bei + 4°) als Einheit angenommen ist. Die Eintheilung dieses Gewichtes ist folgende:

1 Gramm = 10 Decigrammen = 100 Centigrammen = 1000 Milligrammen.
1 Kilogramm = 10 Hectogrammen = 100 Dekagrammen = 1000 Grammen.
1 Kilogramm ist ungefähr gleich zwei Pfunden.
1 preuss. Pfund = 0,467 Kilogramm.
1 engl. Pfund (*Avoir du poids*) = 0,453 Kilogramm.
1 österr. Pfund = 0,560 Kilogramm.

Die Schwere der Körper ist nur ein besonderer Fall der allgemeinen Anziehung der Materie, der allgemeinen Gravitation. Das Gesetz der Gravitation, nach welchem sich ein jedes Massentheilchen des Universums zu jedem andern bezieht, nach welchem die Anziehungen in gleichen Entfernungen den Massen proportional sind, findet nach Newton's Berechnungen seine Bestätigung in dem Umlauf der Trabanten um ihre Hauptplaneten, der Kometen um die Sonne, der Erscheinungen der Ebbe und Fluth u. s. w.

Die äussere Form der Körper ist von der Wechselwirkung zweier Kräfte abhängig, der Molekularanziehung und der Molekularabstossung. Die jedesmalige Mittlere oder Resultirende dieser beiden Kräfte ist dasjenige, was man bei festen und flüssigen Körpern die Kraft des Zusammenhanges oder die Cohäsionskraft nennt. Der Aggregatzustand (die Aggregationsform) ist die Art, wie die für die Wahrnehmung gleichartigen Theile eines Körpers mit einander verbunden sind. Man unterscheidet den festen (starren), tropfbaren (flüssigen) und ausdehnbaren (elastisch flüssigen oder gasförmigen) Aggregatzustand. Viele Kräfte zeigen sich unter gewissen Bedingungen in einem jeden dieser Zustände, ohne ihre materielle Beschaffenheit zu ändern. Eis, Wasser, Wasserdampf; Kohlensäure, feste, flüssige und gasförmige geben uns hierzu bekannte Beispiele.

Mechanischer Druck bewirkt nicht nur eine Verdichtung der gasförmigen Körper, sondern bei den meisten auch einen Uebergang in den tropfbar flüssigen Zustand, so Kohlensäuregas, Stickstoffoxydul und Cyan. Die Entziehung der Wärme hat denselben Erfolg und verwandelt auch tropfbare Körper in feste (Gefrieren von Flüssigkeiten). Aufhebung des äusseren Druckes und Erwärmung bringen die entgegengesetzten Aggregatzustände hervor. Am auffallendsten zeigen sich die Veränderungen der Aggregationsform bei chemischen Mischungen.

Unter Cohäsionskraft (Cohäsion) versteht man, wie schon erwähnt, die Kraft des Zusammenhanges, die Resultirende der Molekularanziehung (attractiven Molekularkräfte) und die Molekularabstossung (repulsiven Molekularkräfte). Daraus folgt, dass von einer Cohäsionskraft bei Gasen nicht gesprochen werden kann, es

müsste denn die Cohäsion hierbei nicht in einem Streben der Erhaltung, als vielmehr in der Aufhebung des Zusammenhanges bestehend, gewissermassen als negative Cohäsion angenommen werden.

Je nach der Art und Weise, wie die Cohäsion den Zusammenhang der Theile bewirkt, kann ein fester Körper weich oder hart, geschmeidig oder spröde sein. Wenn ein Körper schon durch die Anwendung einer geringen Kraft eine Aenderung der Gestalt erleidet, ohne dass der Zusammenhang aufgehoben wird, so nennt man ihn weich, findet das Gegentheil statt, hart. Geschmeidig wird ein Körper genannt, der ohne Aufhebung des Zusammenhanges immer bedeutenden bleibenden Aenderungen der Dimensionen fähig ist. Gold und Silber bieten uns bekannte Beispiele von Geschmeidigkeit dar. Körper, welche die erwähnte Festigkeit nicht haben, werden spröde genannt. Diese Körper lassen eine Verschiebung der Theile nicht zu, ohne den Zusammenhang zu verlieren. Die Metalle Antimon, Wismuth, das Glas und der Stahl sind Beispiele von spröden Körpern. In Bezug auf die besonderen Arten der Einwirkung, durch die ein Körper ohne Aufhebung des Zusammenhanges seine Dimensionen verändert, unterscheidet man Hämmerbarkeit, Biegsamkeit und Streckbarkeit. Biegsamkeit, gepaart mit grosser Festigkeit, wird Zähigkeit genannt. Hämmerbarkeit findet sich besonders bei Körpern von grosser Zähigkeit und einem gewissen Grade von Weichheit; hämmerbare Körper sind Gold, Silber, Zinn, Blei, Eisen, die zu Platten oder selbst zu den dünnsten Blättchen ausgehämmert werden können. Die Streckbarkeit oder Dehnbarkeit ist bei verschiedenen Körpern unter verschiedenen Umständen verschieden. Einige Metalle, wie Zink und Wismuth, ferner Glas und Colophonium, sind bei gewöhnlichen Temperaturen nicht dehnbar, bei erhöhter aber lässt sich Zink zu papierdünnen Platten auswalzen, Glas, das vor der Lampe erweicht worden ist, zu den feinsten Fäden auspinnen und zu Kugeln aufblasen, deren Wände nicht dicker als die einer Seifenblase sind.

Wenn ein Körper aus dem festen Zustand in den tropfbaren übergeht, so zeigt derselbe stets eine bestimmte Temperatur, die man mit dem Namen Schmelzpunkt bezeichnet. Von dem Augenblicke an, wo das Schmelzen beginnt, steigt die Temperatur nicht mehr, wie viel auch Wärme zufliessen mag, erst, wenn die ganze Masse geschmolzen ist, fängt ein Steigen die Temperatur des geschmolzenen Körpers an. Diejenige Wärmemenge, die ein Körper bedarf, um aus dem festen in den tropfbaren Zustand überzugehen, entzieht derselbe seiner Umgebung, man sagt, diese Wärme werde gebunden. Wenn der geschmolzene Körper wieder fest wird (erstarrt), so wird die beim Schmelzen gebundene Wärme wieder frei. Aehnliches findet statt, wenn ein tropfbarer Körper sich in einen ausdehnbaren (gasförmigen) von bestimmter Spannkraft verwandelt. Diejenige Wärme, die ein Körper aufnimmt, um aus dem festen Zustande in den tropfbaren überzugehen, heisst Flüssigkeitswärme; die zum Uebergange aus

dem tropfbaren Zustande in den ausdehnsamen, Verdampfungswärme.

Obgleich wir die Natur der Wärme nicht kennen, so ist es doch ausgemacht, dass ihre Menge mit der Grösse der durch sie hervorgebrachten Wirkungen in Verbindung steht, und dass die Grösse dieser Wirkungen der Wärmemenge proportional sei. Von den Wirkungen kennen wir hauptsächlich die Empfindung, welche wir je nach ihrer Beschaffenheit mit dem Namen Wärme oder Kälte bezeichnen, die Vergrösserung des Volumens und die Veränderung des Aggregatzustandes. Nur die letztere ist zum Messen der Wärmemenge geeignet. Als Einheit kann man jedes beliebige Wärmequantum annehmen, gewöhnlich nimmt man diejenige Wärmemenge an, welche erforderlich ist, um eine Gewichtseinheit Wasser, z. B. ein Pfund, von 0° C. auf 1° C. zu erwärmen.

Wenn man diese Wärmemenge = 1 setzt, so sind die Wärmemengen 2, 3, n diejenigen, welche 2, 3, n Masseneinheiten Wasser von 0° C. auf 1° C. erwärmen können.

Diejenige Wärmemenge, welche die Temperatur einer Masseneinheit eines Stoffes um einen Grad erhitzt, heisst seine specifische Wärme; sie ändert sich nicht nur mit der Natur nnd dem Aggregatzustande, sondern auch mit der Temperatur. Da ein Körper eine grössere oder geringere specifische Wärme bedarf, so sagt man, er habe eine in demselben Verhältnisse grössere oder geringere Wärmecapacität, worunter man also die Fähigkeit der Körper versteht, bei gleicher Temperatur ungleiche Wärmemengen zu enthalten.

Obgleich die specifische Wärme für die verschiedenen Stoffe verschieden ist, so hat ein Körper dennoch eine 3, 4, 5 ... fache Wärmecapacität, wenn er 3, 4—5 fache specifische Wärme hat. Bedeutet p das Gewicht, t die Temperatur, s die specifische Wärme und q die Wärmemenge eines Körpers, so ist $q = pts$. Die specifische Wärme eines Körpers ist nicht constant und wächst in der Regel mit der Temperatur; so braucht z. B. Platin mehr Wärme, um von 100° auf 101° erwärmt zu werden, als von 0° auf 1°. Dieser Unterschied ist aber ein so geringer, dass man in den meisten Fällen die specifische Wärme als constant annehmen kann.

Während die im Vorstehenden angeführten Molekularkräfte sich nur auf gleichartige Theile eines Körpers erstrecken, giebt es auch Erscheinungen, welche auf das Dasein einer ähnlichen Anziehungskraft für heterogene Körper hindeuten. Diese Erscheinung nennt man Adhäsion und die ihr zu Grunde liegende Kraft die Adhäsionskraft. Die Adhäsion tritt ein bei der Berührung fester Körper mit tropfbaren oder ausdehnsamen, so wie bei der flüssiger Körper jeder Art unter einander.

Zwei Massen aus verschiedenen Metallen haften, mit geschliffenen und polirten Flächen in Berührung gebracht, mit einer Kraft aneinander, deren Grösse von der materiellen Beschaffenheit der Platten abhängt und mit der Grösse der der sich berührenden Platten wächst. Die Kreidepartikelchen adhäriren der Tafel, der Bleistift dem Papier, dem Holz. Wird zwischen zwei gut aneinander passende Flächen fester Körper eine flüssige Substanz gebracht, welche ihnen adhärirt und durch Trocknen oder Erkalten in den festen Zustand übergeht, so haften die Körper fest aufeinander; hierauf beruht das Kitten, Löthen, Leimen, Mauern. Auf die Adhäsion gründet sich das Belegen der Spiegel mit Amalgam, das Benetzen von festen Körpern mit Flüssigkeiten. Die Adhäsion zwischen tropfbaren Flüssigkeiten beweist die Erfahrung, dass ein Tropfen Oel, auf eine Wasserfläche gebracht, sich schnell ausbreitet. Auch Gase adhäriren an flüssigen und festen Körpern. Luft haftet z. B. so hartnäckig am Glas, dass es nur durch Hitze davon freigemacht werden kann; ohne Zweifel ist ein solcher ausdehnsamer Körper an den Wänden verdichtet und bildet daselbst eine eigene Atmosphäre. Vera's zum Wasserheben bestimmte Seilmaschine gründet sich ebenfalls auf die Adhäsion. Diese Maschine besteht wesentlich aus mehreren breiten Gurten ohne Ende, die um zwei übereinander befindliche Wellen gehen. Die untere Welle befindet sich in dem Wasserbehälter, die obere an dem Orte, wohin das Wasser gehoben werden soll. Wird schnell genug gedreht, so erscheint die aufsteigende Hälfte des Bandes mit einer dicken Hülle adhärirenden Wassers umgeben, welches beim Wenden desselben in einem eigenen Behälter gesammelt werden kann.

Die Adhäsionskraft ist oft so stark, dass sie andere Kräfte, wie Ausdehnsamkeit, Cohärenz und Schwere, überwältigt und Erscheinungen hervorbringt, die man mit den Namen Absorption, Auflösung und Mischung belegt. Absorption findet hauptsächlich bei porösen und gepulverten Körpern statt und besteht darin, dass von denselben ausdehnsame Körper in den Poren aufgenommen und in denselben verdichtet werden.

Frischgeglühte Holz- und Knochenkohle absorbirt Gase in sehr bedeutender Menge und wird deshalb in der Technik häufig angewendet, um Körpern einen unangenehmen Geruch zu benehmen. Die Anwendung der Kohle zum Entfärben des Zuckersaftes, zum Entfuseln des Weingeistes u. s. w. sind gleichfalls durch die absorbirende Eigenschaft der Kohle gegen Farb- und Riechstoffe, Salze u. s. w. zu erklären. Der Platinschwamm, d. i. sehr fein getheiltes metallisches Platin, verdankt seine Eigenschaft, Gase in unglaublicher Quantität in seinen Poren zu verdichten, dem porösen, die Wirkung der Adhäsion begünstigenden Gefüge.

Bringt man einen tropfbar flüssigen Körper mit einem festen zusammen, so wird häufig letzterer von ersterem nicht blos benetzt, sondern es zieht sich der tropfbare zwischen die Theilchen des festen hinein und hebt den Zusammenhang des letzteren auf. Man sagt dann, der Körper löst sich in der Flüssigkeit auf. Eine Flüssigkeit, welche einen Körper auf solche Weise auflöst, heisst

ein Lösungsmittel, und der Hergang, so wie das Product der Erscheinung Auflösung.

Durch die Erfahrung sind in Bezug auf die Auflösung folgende Gesetze festgestellt worden: 1) Nicht jeder feste Körper löst sich in einem gegebenen tropfbaren. 2) Eine Flüssigkeit, die einen Stoff auflöst, nimmt von demselben nicht eine beliebige Quantität auf, sondern es giebt eine gewisse Menge, über welche hinaus keine Auflösung erfolgt. Eine Flüssigkeit, welche von einem Stoffe das Maximum aufgenommen hat, heisst mit diesem Stoffe gesättigt. 3) Die zur Sättigung (Saturation) erforderliche Menge des aufzulösenden Körpers ist abhängig von seiner materiellen Beschaffenheit, so wie von der des Lösungsmittels und der Temperatur. 4) Eine Flüssigkeit, die schon mit einem Körper gesättigt ist, kann von einem andern noch etwas auflösen.

Analog der Auflösung eines festen Körpers in einem tropfbaren ist die Vereinigung zweier tropfbarer Körper zu einem homogenen Ganzen. Man nennt diesen letzteren Vorgang Mischung. Es giebt dabei in der Regel keine Sättigung und es können Flüssigkeiten in jedem Verhältnisse gemischt vorkommen. Eine Mischung stellen dar Alkohol und Wasser, atmosphärische Luft und Wasserdunst.

Zwei oder mehrere ungleichartige Stoffe können sich zu einem neuen gleichartigen Körper vereinigen, in dessen Eigenschaften man oft keine Spur der Stoffe, aus denen er zusammengesetzt ist, erkennt. Man nennt das Product einer solchen Vereinigung eine chemische Verbindung, und die Kraft, welche die Vereinigung bewirkt, chemische Anziehung, Affinität oder Verwandtschaft. Jeder Körper, der aus ungleichartigen, durch die chemische Verwandtschaft vereinigten Theilen besteht, heisst chemisch zusammengesetzt; ein Körper, bei welchem sich nach dem jetzigen Standpunkte der Wissenschaft keine ungleichartigen Bestandtheile nachweisen lassen, chemisch einfach, ein Urstoff, ein Element.

Den chemischen Verbindungen liegen folgende Gesetze zu Grunde: I. Das Gesetz der Erhaltung der Materie. Nach diesem Gesetz ist das Gewicht eines zusammengesetzten Körpers stets der Summe seiner Bestandtheile gleich, mit andern Worten, bei einer chemischen Verbindung oder Trennung erleidet das Gewicht der Körper keine Veränderung. II. Das Gesetz der bestimmten Verhältnisse. Wenn einfache Stoffe sich mit einander verbinden, so geschieht dies in einem oder in einigen bestimmten Gewichtsverhältnissen. III. Das Gesetz der multiplen Proportionen oder des Vielfachen. Wenn zwei Körper sich mit einander in mehreren Verhältnissen verbinden, so lassen sich diese immer in Zahlen ausdrücken, die man aus denen der niedrigsten Verbindungsstufe erhält, wenn man entweder die Menge eines oder auch beider Bestandtheile nach Zahlen vervielfacht, die in den ersten Gliedern der Reihe der natürlichen Zahlen liegen.

Dritter Abschnitt.

Vom Gleichgewichte der Kräfte.

Wenn Kräfte auf einen Körper einwirken, so sind zwei Fälle möglich, einmal können die Kräfte sich in ihren Wirkungen gegenseitig aufheben und es findet keine Veränderung im Zustande der Körper statt, oder diese Kräfte heben sich nicht auf und es tritt eine Bewegung des ganzen Körpers oder einzelner Theile desselben ein. Es findet also Gleichgewicht statt, oder es erfolgt Bewegung. Diejenige Lehre, die sich mit den Wirkungen bewegender Kräfte beschäftigt, heisst die Mechanik; letztere wird eingetheilt in die Lehre vom Gleichgewicht, in die Statik, und in die Lehre von der Bewegung, in die Dynamik. Unter den Kräften spielen die Schwerkraft und die Molekularkräfte eine grosse Rolle. Bei jeder Kraft beachtet man den Angriffspunkt, d. h. denjenigen Punkt, auf welchen die Kraft unmittelbar einwirkt, die Richtung und die Stärke oder Intensität. Da man sich von der Stärke einer Kraft eben so wenig wie von jeder andern Grösse eine absolute Vorstellung machen kann, so kann beim Messen der Kräfte lediglich nur von dem Verhältnisse der Intensitäten zweier Kräfte die Rede sein. Von einem Systeme von Kräften, welche einen Körper so bewegen wie andere Kräfte, sagt man, die ersteren seien den letzteren aequivalent. Aequivalente Kräfte können einander substituirt werden. Wenn mehrere gleichartige Kräfte auf einen Punkt nach verschiedenen Richtungen einwirken, so kann daraus, wie erwähnt, eine Anregung zur Bewegung hervorgehen, in Folge deren die Körper nach einer bestimmten Richtung fortzuschreiten streben. Dieser Effect lässt sich auch durch eine einzige, nach dieser Richtung hin wirkende Kraft erzielen, deren Wirkung jener der vorhandenen Kräfte gleich ist und denen sie substituirt werden kann. Diese Kraft wird die Resultirende (Mittelkraft) der andern Kräfte, letztere aber werden die Componenten (Seitenkräfte) genannt. Die Resultirende mehrerer Kräfte ausmitteln heisst die Kräfte zusammensetzen, einer gegebenen Kraft andere Kräfte substituiren, deren Resultirende sie ist, heisst diese Kraft zerlegen.

Wenn Kräfte an einem geraden Punkte angebracht sind und ihre Richtungen in dieselbe gerade Linie zu liegen kommen; so können überhaupt zwei Fälle stattfinden; in dem einen Falle wirken alle Kräfte nach derselben Richtung hin, in dem zweiten ist

die Richtung einiger Kräfte jenen der übrigen entgegengesetzt. Im ersten Falle ist die Resultirende sämmtlicher Kräfte der Summe der letzteren gleich und hat nothwendiger Weise dieselbe Richtung; in dem zweiten Falle aber entspricht die Resultirende der Differenz, die man erhält, wenn man die Summe der nach der einen Richtung hin wirkenden Kräfte von der der nach der entgegengesetzten Richtung wirkenden Kräfte abzieht; sie hat die Richtung derjenigen Kräfte, welche die grössere Summe geben. Ist also P die eine, Q die andere Kraft, und $P > Q$, so ist $P - Q = R$, d. h. $P = Q + R$. An die Stelle von P kann man daher die aequivalenten Kräfte R und Q setzen; die beiden nun vorhandenen entgegengesetzten Kräfte, von denen eine jede $= Q$ ist, stehen im Gleichgewicht und kommen demnach nicht in Betracht. Es bleibt also nur R übrig, welche Kraft die Resultirende sämmtlicher Kräfte ist und die Richtung der grösseren Summe P hat. Wenn beide Summen einander gleich wären, wenn beide Kräfte einander das Gleichgewicht hielten, so würde man finden, dass $R = 0$.

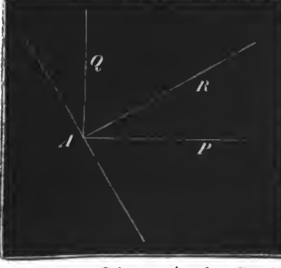
Fig. 3.

Bei zwei parallelen Kräften, die, wie *P* und *P* (Fig. 3), nach ein und derselben Seite gerichtet sind, liegt die Resultirende *R* genau zwischen diesen beiden Kräften und greift in der Mitte *b* der Linie *a c* an. Ihre Grösse *R* ist $P + P = 2P$. Sind die beiden parallelen Kräfte ebenfalls nach derselben Seite gerichtet, aber von verschiedener Stärke, $P > Q$ (Fig. 4), so liegt die Resultirende *R* nicht mehr in der Mitte, sondern näher der stärkeren Kraft, näher an *P*; die Abschnitte auf *a c* verhalten sich genau umgekehrt, wie die Kräfte. Daher: $P : Q = fc : af$, oder, wenn $fc = q$ und $af = p$ gesetzt wird, $P : Q = q : p$. Aus diesen Proportionen folgt dann die andere: $P : P + Q = q : q + p$ und $Q : P + Q = q : p + p$. $P + Q$ ist aber gleich R; wird nun $p + q = r$ gesetzt, so erhält man, wenn man beide Proportionen zusammenschreibt: $P : Q : R = p : q : r$. Sind also zwei parallele Kräfte

Fig. 4.

und ihre Resultirende gegeben, so verhalten sich diese drei Kräfte, wie die von ihnen nicht begrenzten Abschnitte auf der Verbindungslinie.

Fig. 5.

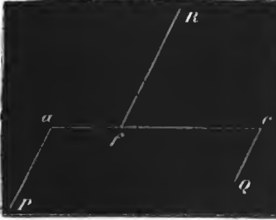


Wirken zwei Kräfte unter einem rechten Winkel auf einen Punkt ein, so gilt der Satz, dass das Quadrat der Grösse der Resultirenden gleich der Summe der Quadrate der Grössen der Componenten ist. Ist *A* (Fig. 5) der Angriffspunkt zweier Kräfte, deren Grössen wir durch *P*, *Q* vorstellen, so ist, wenn wir die Resultirende $= R$ setzen:

$$R^2 = P^2 + Q^2.$$

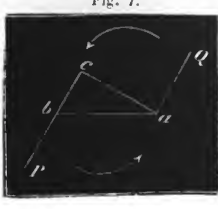
Die Grösse der Resultirenden zweier unter einem rechten Winkel auf einen Punkt wirkenden Kräfte wird durch die Diagonale des Rechteckes vorgestellt, dessen Seiten den Richtungen und Grössen der Componenten entsprechen.

Fig. 6.



Wirken parallele Kräfte in entgegengesetzter Richtung, denkt man sich z. B. die Resultirende *R* in dem Punkte *f* nach der entgegengesetzten Richtung auf *ac* wirkend (Fig. 6), so wird sie den beiden Kräften *P* und *Q* das Gleichgewicht halten; so verhalten sich also drei parallele Kräfte, die sich im Gleichgewichte halten, wie die von ihnen nicht begrenzten Abschnitte der Verbindungslinie.

Fig. 7.



Sind zwei parallele Kräfte *P* und *Q* (Fig. 7), die nach entgegengesetzter Richtung wirken, einander gleich ($P = Q$), so ist die Resultirende $R = 0$, weil $P - Q = 0$. Eine Resultirende in dem früheren Sinne, eben so wenig wie ein Gleichgewicht zwischen beiden Kräften, giebt es in diesem Falle nicht, sondern es findet vielmehr eine Drehung in dem Sinne beider Kräfte (die in der Figur durch Pfeile angedeutet ist)

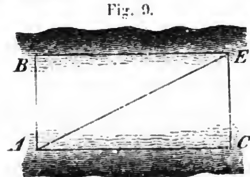
Fig. 8.



statt. Solche Kräfte nennt man ein **Kräftepaar** oder **Gegenpaar**, dasselbe sucht keine Fortschiebung, sondern eine Umdrehung zu bewirken und ist deshalb für die Mechanik von der grössten Wichtigkeit.

Wenn zwei nicht parallele Kräfte auf einen Punkt einwirken, so dass ihre Richtungen einen Winkel bilden, so muss die Resultirende innerhalb dieses Winkels liegen. Man findet diese Resultirende nach einem Gesetz, welches unter dem Namen **Parallelogramm der Kräfte** bekannt ist. Sind die beiden Kräfte gleich, so muss die Resultirende den Winkel zwischen beiden halbiren, sind die beiden Kräfte aber ungleich, so nimmt die Resultirende eine solche Lage an, dass sie der grösseren der beiden Kräfte näher liegt, als der kleineren. Construirt man aus den beiden gegebenen Kräften und dem dazwischen liegenden Winkel ein Parallelogramm und zieht in diesem die Diagonale ad (Fig. 8), so ist dieselbe die Resultirende R von Q und P; diese Kraft wirkt der Intensität und Richtung nach so viel, als die beiden Kräfte P und Q zusammen genommen.

Fig. 9.



Beispiele der Anwendung des Parallelogramms der Kräfte. Ein Fisch, der geradeaus schwimmen will, schlägt mit seinem Schwanze heftig das Wasser nach rechts und nach links. Ein Schiff ferner, welches durch eine Kraft, z. B. die Kraft des Windes, quer über einen Fluss hinübergetrieben und gleichzeitig vom Wasser stromabwärts getragen wird, würde, wenn das Wasser des Flusses ruhig stünde, durch den Wind in 15 Minuten geradlinig von A nach B bewegt werden (Fig. 9), der Strom allein würde es aber, wenn kein Wind ginge, in der nämlichen Zeit von A bis C tragen. Da aber Wind und Strom zugleich wirken, so ist das Schiff in 15 Minuten weder in B noch in C, sondern muss sich am Endpunkte E der Diagonale AE des Parallelogramms $ABEC$ befinden.

Wenn mehr als zwei Kräfte gegeben sind, zu welchen die Resultirende gesucht werden soll, so construirt man aus zweien derselben das Parallelogramm, und zieht die Diagonale. Diese Diagonale verbindet man mit der dritten Kraft zu einem Parallelo-

gramm; die Diagonale desselben ist die Resultirende aller drei Kräfte u. s. w. Da nun jede gegebene Linie als Diagonale unzähliger Parallelogramme betrachtet werden kann, so kann daher jede der Richtung und Grösse nach gegebene Kraft auf unendlich verschiedene Arten in zwei Kräfte zerlegt werden.

Vom Gleichgewichte der Kräfte an Maschinen.

Maschine heisst jede Vorrichtung, mittelst welcher eine Kraft auf einen ausserhalb ihrer Richtung gelegenen Punkt wirksam gemacht werden kann. Der Zweck einer Maschine ist Bekämpfung einer gegebenen Kraft oder Ueberwindung eines Hindernisses. Die Kraft, oder der Widerstand, der bekämpft werden soll, wird die Last, die zur Bekämpfung dienende Kraft vorzugsweise die Kraft genannt. Das Verhältniss, in welchem die Grösse der Kraft zur Grösse der Last steht, heisst das statische Verhältniss.

Aus dem Begriffe einer Maschine geht hervor, dass die Richtungen der Kraft und Last einander nicht gerade entgegengesetzt sind; soll zwischen beiden Kräften Gleichgewicht herrschen, so muss ihre Resultirende durch einen unbeweglichen Punkt gehen, oder auf einer unbeweglichen Fläche senkrecht stehen. Ein solcher unbeweglicher Punkt heisst ein Unterstützungspunkt. Sind die Bedingungen des Gleichgewichtes von Kräften an einer Maschine bekannt so ergeben sich daraus die Bedingungen der Störung des Gleichgewichtes, d. h. der Erzeugung von Bewegung vermittelst der Maschine; hierzu bedarf es nun einer Vermehrung oder einer Verminderung des Effectes der einen oder der andern der im Gleichgewichte stehenden Kräfte.

Man unterscheidet einfache und zusammengesetzte Maschinen. Eine Maschine, an welcher keine Theile unterschieden werden können, die für sich als Maschine zu benutzen wären, heisst einfach; eine aus mehreren mit einander verbundenen Maschinen bestehende Maschine heisst zusammengesetzt. Die einfachen Maschinen zerfallen in zwei Abtheilungen, nämlich in solche, bei denen die Resultirende der wirkenden Fläche durch einen fixen Punkt, und in solche, bei denen sie durch eine unbewegliche Fläche aufgehoben wird. In die erste Classe gehören die Hebel, das Wellrad, die Rolle, die Stangen- oder Seilmaschine; in die zweite Klasse die schiefe Ebene, der Keil und die Schraube.

Vom Hebel Man unterscheidet physische und mathematische Hebel. Jede gerade oder krumme, unbiegsame Stange, welche durch die an ihr angebrachten Kräfte im entgegengesetzten Sinne zur Drehung angeregt wird, ist ein physischer Hebel.

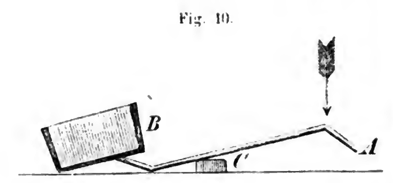


Fig. 10.

Sieht man von dem Gewichte der Stange und von den Bewegungshindernissen ab, so hat man einen mathematischen Hebel. Bei einem Hebel sind zu unterscheiden Last, Kraft, Unterstützungspunkt und Hebelarme. Liegt der Unterstützungspunkt *C* zwischen Kraft *A* und Last *B* (Fig. 10), so heisst der Hebel ein zweiarmiger; liegen aber *A* und *B* in Bezug auf den Unterstützungspunkt auf einer Seite, so wird der Hebel ein einarmiger genannt (Fig. 11). Die in beiden vorstehenden Figuren abgebildeten Hebel heissen, zum Unterschiede von den gradlinigen Hebeln, Winkelhebel. Im Zustande des Gleichgewichtes ***verhalten sich die Kräfte umgekehrt wie die Hebelarme***, wenn der Hebel gradlinige Arme hat und zwei Kräfte senkrecht dagegen wirken. Das statische Verhältniss (das statische Moment) erhält man, wenn man die an einem Hebel wirkende Kraft mit ihrem Hebelarme multiplicirt. Sind die statischen Momente gleich, so ist der Hebel im Gleichgewicht.

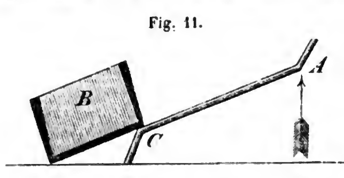
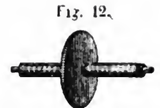


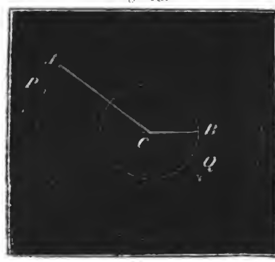
Fig. 11.

Aus der grossen Anzahl von Instrumenten, Apparaten, Vorrichtungen und Geräthen, denen das Princip des Hebels zu Grunde liegt, seien erwähnt: die Schaufeln, Zangen, Brecheisen, Scheren und vor allen die für die Physik so wichtige Wage. Die Theile der Wage wurden schon früher angeführt. Der Wagebalken ruht mittelst eines in eine Schneide sich endigenden Zapfens auf den Lagern (Pfannen) der Schere. Auf ähnliche Weise sind die Wagschalen an den Balken aufgehängt. Zur Richtigkeit einer zweiarmigen Wage ist unerlässlich, dass die Arme des Wagebalkens gleich lang sind, dass sie ein gleiches Gewicht haben, dass die Wagschalen ebenfalls gleich schwer sind. Je geringer das Gewicht des Wagebalkens und der Belastung ist, ein desto geringerer Unterschied in der Belastung beider Schalen ist hinreichend, einen bestimmten Ausschlagswinkel hervorzubringen und desto empfindlicher ist die Wage.

Das Wellrad ist ein um seine Axe beweglicher Cylinder mit einem Rade, dessen Axe mit jener des Cylinders zusammenfällt und zugleich auf der Ebene des Rades senkrecht steht (Fig. 12). Die Kraft wirkt am Umfange des Rades, die Last am Umfange des Cylinders.


Fig. 12.

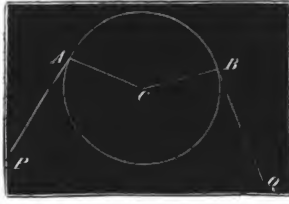
Oft sind anstatt des Rades nur einzelne Halbmesser (Speichen) in die Welle eingefügt, wodurch am Erfolge der Kräfte nichts geändert wird. Obgleich man das Wellenrad als eine besondere Maschine anzusehen pflegt, so lässt sich dasselbe doch auf einen zweiarmigen Hebel reduciren, welcher, je nachdem die Kräfte parallel oder schief auf einander wirken, als ein gerader oder als ein Winkelhebel (Fig. 13) ACB erscheint, dessen Unterstützungspunkt in der Axe des Rades liegt, während in B die Last Q, in A die Kraft P wirkt. Für den Gleichgewichtszustand besteht sonach die Proportion:

Fig. 13.


$$P : Q = CB : AC.$$

Im gewöhnlichen Leben erscheint das Wellrad als Winde, Haspel, Göpel, Wasserrad, Zahnrad u. s. w.

Die Rolle ist eine kreisförmige Scheibe, an deren Peripherie eine Rinne zur Aufnahme einer Schnur eingeschnitten ist. Kann die Scheibe nur um ihre Axe bewegt werden, so heisst die Rolle fix, ist es aber der Rolle gestattet, ihren Ort zu verändern, so nennt man sie beweglich oder lose. Zieht man (Fig. 14) vom Mittelpunkte die beiden Radien AC und BC nach denjenigen Punkten der Peripherie, an welchen das Seil abgeht, so kann man sich die Seile an den Endpunkten dieser Radien als Hebelarme befestigt und die ganze Scheibe, mit Ausnahme der beiden Radien, hinweggenommen denken, ohne dass an der Wirkung der Maschine etwas geändert wird. Die Radien stehen auf den in der Richtung der Tangente abgehenden Seilen senkrecht; für den Fall des Gleichgewichts werden sich die Kräfte verhalten müssen, umgekehrt wie die Hebelarme. Da nun die Hebelarme als Radien des Kreises einander gleich sind, so sind auch die Kräfte P und Q einander gleich.

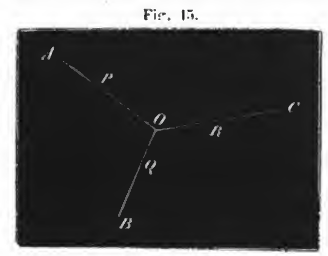
Fig. 14.


Durch eine fixe Rolle wird keine Kraft erspart, da Kraft und Last einander gleich sind; sie findet nur Anwendung, um einer Kraft eine andere Richtung zu geben.

Bei der beweglichen oder losen Rolle ist ein Ende des Seils an einem fixen Punkte befestigt, die Kraft wirkt an dem andern Ende der Schnur, der Angriffspunkt fällt in die Axe der Rolle, und es wird diese Last durch das Bestreben bekämpft, welches die Rolle durch die Action der Kraft zur Fortbewegung erhält. Bei der beweglichen Rolle verhält sich die Kraft zur Last, wie der Halbmesser der Rolle zur Sehne des von der Schnur umfassten Bogens. Bei der beweglichen Rolle wird nur so lange an Kraft erspart, als die Sehne des von der Schnur umfassten Bogens grösser ist als der Halbmesser, d. h. so lange dieser Bogen innerhalb der Grenzen von 60° und 300° liegt.

Die Stangen- oder Seilmaschine besteht aus drei Stangen (Stricken, Seilen etc.) AO, BO und CO, welche in dem Punkte O, um welchen sie sich frei bewegen können, mit einander verbunden sind; die Kraft P wirkt an dem Ende A längs ihrer Richtung AO und OA; die Last Q wirkt an dem Ende B der zweiten Stange längs OB oder BO; das Ende C der dritten Stange ist auf die Weise befestigt, dass sich dieselbe um den fixen Punkt C drehen kann. Im Zustande des Gleichgewichtes fällt daher die Richtung der Resultirenden der Kräfte P und Q in die Gerade OC. Auf der Stangen- oder Seilmaschine beruht die Wirksamkeit der Kniepresse.

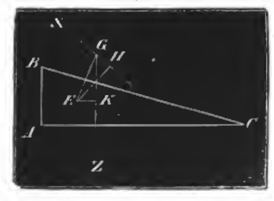
Fig. 15.



Die Kniepresse besteht im Wesentlichen aus zwei Mittelstangen, die in einem Gelenke vereinigt sind, wovon die eine sich gegen einen festen unbeweglichen Widerstand stemmt, während die andere mit ihrem Ende auf einen zusammenzupressenden Körper wirkt. Die Wirkung dieser Presse wächst in dem Verhältniss, als der durch die beiden Stangen gebildete Winkel kleiner wird, was immer stattfindet, sobald das Volumen des gepressten Gegenstandes sich vermindert. Das Princip der Stangenmachine wendet man bei Buchdruckerpressen, Prägwerken u. dgl., und überhaupt in solchen Fällen an, wo es sich um ein gleichmässiges Steigern der Presskraft handelt.

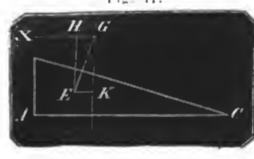
Die schiefe Ebene ist eine Ebene, welche mit der horizontalen einen spitzen Winkel macht. Ist C (Fig. 16) ein Punkt der Durch-

Fig. 16.



schnittslinie der schiefen Ebene mit einer horizontalen, AC auf diese Linie senkrecht, und BAC ein rechter Winkel, demnach BA vertical, so heisst AC die Basis, AB die Höhe, BC die Länge und ACB der Neigungswinkel. Befindet sich auf der schiefen Ebene ein Körper, dessen Schwerpunkt in G liegt und dessen Gewicht Q heisst, so sucht ihn die Schwere nach der verticalen Richtung GZ zu bewegen. Soll ihn eine Kraft P, die nach GX wirkt, auf BC erhalten, so muss die Richtung der Resultirenden von P auf Q senkrecht stehen und durch die Grundfläche des Körpers gehen; im entgegengesetzten Falle würde derselbe auf der Ebene umschlagen. Stehen EH und EK auf GX und GZ senkrecht, und ist GE die Richtung dieser Resultirenden, so wird für den Zustand des Gleichgewichtes sein:

Fig. 17.



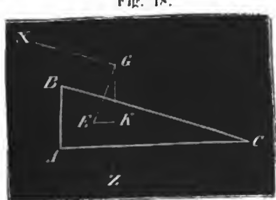
$$P : Q = EK : EH.$$

Wirkt P der Basis der schiefen Ebene parallel (Fig. 17), so ist $EH = GK$, daher

$$P : Q = AB : AC.$$

Es verhält sich demnach die Kraft zur Last, wie die Höhe der schiefen Ebene zur Basis. — Wirkt P aber der Länge der schiefen Ebene parallel (Fig. 18), so fällt EH in EG und man hat die Proportion

Fig. 18.



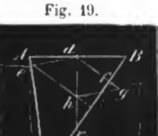
$$P : Q = EK : EG.$$

Die Kraft also, welche parallel mit der schiefen Ebene wirkt, verhält sich zur Last, wie die Höhe zur schiefen Ebene.

Ein Keil ist jedes dreiseitige Prisma, welches mit einer seiner Kanten zwischen zwei Hindernisse dringt, um diese mittelst der Seitendrucke durch Anwendung einer Kraft auf die dritte Seite von einander zu entfernen. Es wirken mithin Kräfte von aussen nach

innen auf jeder seiner Seiten. Die Kante, welche sich zwischen die Hindernisse einsenkt, heisst die **Schneide** oder **Schärfe**, die entgegenstehende Seite der **Rücken** oder **Kopf**, die Flächen endlich, welche die Schneide bilden, die Seiten des Keils. In der Regel wirkt man mittelst eines Schlegels oder Stosses auf den Rücken des Keils und treibt ihn dadurch vorwärts.

Fig. 19.



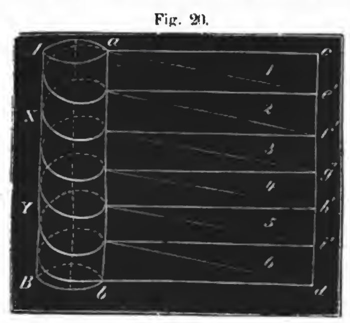
Es sei ABC der Durchschnitt eines Keils, auf die Seite AC wirke rechtwinklig eine Kraft P, auf die Seite BC eine Kraft Q und auf den Rücken AB rechtwinklig eine Kraft R. Die Mittelkraft der letzteren wirke auf den Punkt d, nach der Richtung dk. Ziehen wir eine Linie de senkrecht auf AC und eine zweite Linie df auf BC, so werden durch diese Linien die Richtungen der Kräfte P und Q ausgedrückt. Ziehen wir von e eine Linie eh parallel mit df, und ergänzen dann die Figur zu einem Parallelogramm $dehg$, so ist die Kraft dh in zwei Seitenkräfte zerlegt, de und dg, und es findet Gleichgewicht statt, wenn $P : Q : R = de : dg : dh$ oder $= de : eh : dh$. Letzteres sind die drei Seiten des Dreiecks deh, welches dem Dreiecke ACB ähnlich ist. Es verhält sich daher $de : eh : dh = P : Q : R = AC : BC : BA$, d. h. es ist Gleichgewicht vorhanden, wenn die auf die drei Seiten wirkenden Kräfte sich zu einander verhalten, wie die drei Seiten des Dreiecks, das durch einen Querschnitt gewonnen wird.

Eine theoretische Berechnung beim Keile wird wohl nur selten angewendet, da der Keil nur dann benutzt werden kann, wenn die Reibung so gross ist, dass sie die Wirkung der beiden Kräfte P und Q auf den Keil noch übertrifft. Denn wäre die Reibung kleiner als die Wirkung der beiden Kräfte, so müsste der Keil nach der Richtung kd davon fliegen, wie es ein nasser Kirschkern zwischen den drückenden Fingern thut. Nur durch die überwiegende Reibung wird der Keil in der Spalte festgehalten. Da diese veränderliche Reibung sich aber nicht berechnen lässt, so wird der Keil nur nach empirischer Regel angewendet. Fast alle unsere schneidenden Werkzeuge sind Keile und wirken nach Art des Keils, so Aexte, Beile, Messer, Meisel, Hacken, Nägel, Nadeln u. s. w. Ein Messer schneidet mit um so geringerem Druck, je schmaler sein Rücken gegen die Seiten ist. Um die Barbiermesser nicht zu dünn zu machen, giebt man ihnen der Haltbarkeit wegen einen starken Rücken, schleift sie aber hohl. Eine interessante Anwendung der Lehre vom Keil findet man bei dem Bau von Gewölben, in welchen man die Gewölbsteine als Keile mit abgestumpfter Base betrachtet. Jeder Stein dringt vermöge seiner Schwere zwischen die benachbarten ein, und indem er sie zu trennen sucht, äussert er einen Druck auf sie.

der, von ihnen vermehrt, auf die zur Seite anstossenden übergetragen wird, bis er endlich senkrecht auf den Boden wirkt und hier sein Ende findet.

Die Schraube. Man denke sich einen geraden, massiven Cylinder *AB* und ein Rechteck *a b c d*, z. B. von Papier. Man denke sich ferner *a b* in eine beliebige Anzahl gleicher Theile getheilt (*a e*, *e f*, *f g*, *g h*), durch die mit *a c* parallelen Linien *e e'*, *f f'*, *g g'*, *h h'*, hierauf zu den so entstehenden ähnlich-gleichen Parallelogrammen die Diagonalen *a e'*, *e f'*, *f g'*, *g h'*, *h d* gezogen, und nun das Rechteck *a b c d* dicht anliegend um den Cylinder gewickelt, so werden die Punkte *e'*, *f'*, *g'*, *h'*, *d'* zusammenfallen. Das Ende *e'* der Diagonale 1 wird sich an den Anfangspunkt der Diagonale 2 anschliessen u. s. f., so dass sämmtliche Diagonalen eine um die Cylinderfläche geschlungene, zusammenhängende, doppelgekrümmte Linie *AXYB* bilden, welche Schraubenlinie genannt wird. Jede solche Diagonale erzeugt eine Windung (wie *aXe*), einen Schraubengang; die Abstände $a e = e f = f g$ der Diagonalen bilden die Höhe oder Weite der Schraubengänge.

Fig. 20.



Bringt man auf der Oberfläche des Cylinders längs der Schraubenlinie ein drei- oder vierseitiges Prisma an, so hat man eine Schraubenspindel oder eine männliche Schraube (siehe Fig. 21 und 22). Schneidet man dazu in einen hohlen Cylinder auf der Schraubenlinie drei- oder vierseitige prismatische Vertiefungen ein, so erhält man eine Schraubenmutter oder eine weibliche Schraube (Fig. 23 u. 24). Beide zusammen, Schraubenspindel und Schraubenmutter, machen ein Ganzes und müssen so eingerichtet sein, dass die Spindel, ohne zu wanken, um ihre Axe gedreht werden kann. Die Erhöhungen der Schraube heissen die Schraubengewinde; je

Fig. 21. Fig. 22.

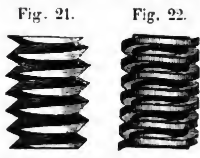
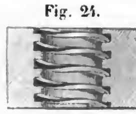


Fig. 23.



Fig. 24.



nachdem endlich der Querschnitt des Schraubengewindes ein Dreieck oder ein Parallelogramm ist, unterscheidet man scharfe und flache Schrauben. Die Schraubengänge an dem Umfange des Cylinders lassen sich als schiefe Ebenen auffassen. Da die Kraft parallel mit der Basis wirkt, während die Last senkrecht gegen dieselbe steht, so verhält sich die Kraft zur Last, wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Basis, oder wie die Entfernung zweier auf einander folgenden Schraubengänge zum Umfange der Spindel, weil die Höhe der schiefen Ebene gleich der Entfernung zweier auf einander folgenden Schraubengänge, und die Basis derselben gleich dem Umfange der Spindel ist. Wegen der bedeutenden Reibung fällt in den meisten Fällen die Kraft weit kleiner aus, als sie der Berechnung nach sein sollte.

Die Schraube findet Anwendung, um grosse Lasten zu heben oder einen starken Druck auszuüben; da es hierbei auf eine Vermehrung der Kraft ankommt, lässt man diese an einem längeren Hebelarme wirken. Sie wird ferner bei der Verbindung zweier Körper benutzt, in diesem Falle aber hat man die Reibung als Kraft anzusehen, und die Spannung der aneinander zu befestigenden Körper als Last. Endlich benutzt man sie zur Hervorbringung sehr kleiner Bewegungen, so die Mikrometerschraube, die Schraubentheilmaschine und der Sphärometer. Die Mikrometerschraube dient zum Messen sehr kleiner Längen; sie besteht wesentlich aus einer sehr feinen Schraube, bei welcher auf einen bestimmten Theil ihrer Länge (z. B. 1 Zoll) viele (bis 144 und darüber) Gänge gehen. Die Schraubentheilmaschine dient dazu, um Längenausdehnungen, z. B. Massstäbe, und Nonien, Thermometerscalen u. s. w., in eine bestimmte Anzahl gleich langer Theile zu theilen. Das Sphärometer wird vorzüglich zum Messen der Dicke dünner Körper, z. B dünner Blättchen, gebraucht; es dient ferner auch zur Untersuchung, ob die Oberfläche eines für eben gehaltenen Körpers, z. B. eines Glases, auch wirklich ganz eben sei, oder ob ein kugelförmig gekrümmt scheinender Körper auch in der That eine solche Krümmung besitzt. — Es ist einleuchtend, dass durch eine Schraube eine sehr bedeutende Kraftäusserung erreicht werden kann, noch mehr verstärken lässt sich aber diese Kraft, wenn man die Schraubengänge in die Zähne eines Rades, an dessen Ende erst die Last wirkt, eingreifen lässt (Fig. 25).

Fig. 25.

Eine solche Vorrichtung nennt man eine Schraube ohne Ende; sie besteht nur aus wenigen Windungen, ihr Eingriff in die Zähne des Rades ist aber ohne Ende.

Fig. 26.



Aus den im Vorstehenden beschriebenen einfachen Maschinen besteht die grosse Anzahl der zusammengesetzten Maschinen, die zu den verschiedensten Zwecken Anwendung finden. Dabei wirkt entweder eine Maschine mit der andern, oder vermittelst der andern. Als Beispiel der ersten Art kann der gewöhnliche Flaschenzug (Fig. 26) gelten, unter welchem man die Verbindung zweier Flaschen, von denen die eine fest, die andere beweglich ist, versteht. Eine Flasche selbst ist ein aus zwei oder mehreren Rollen mit einander verbundenes Rollensystem. Die Verbindung der Flaschen im Flaschenzuge geschieht dadurch, dass ein einziges Seil über alle Rollen geht und zwar abwechselnd von einer beweglichen auf eine feste. Befindet sich die Kraft P an seinem Strickende, die Last Q an der unteren Flasche, so müssen alle Stricke gleich stark gespannt sein, wenn P mit Q im Gleichgewichte sein soll. Bei n Stricken muss daher sein $P = \frac{Q}{n}$.

Ist z. B. $Q = 100$ Pfund, n (die Zahl der Stricke), wie in der beistehenden Figur, $= 6$, so ist $P = \frac{100}{6} = 16{,}66$ Pfund, d. h. in diesem Falle hält eine Kraft von 16,66 Pfund einer Last von 100 Pfund das Gleichgewicht.

Bei zusammengesetzten Maschinen der zweiten Art, in welcher eine Maschine vermittelst der andern wirkt, spielt die Last an jeder einzelnen, bezüglich der folgenden, die Rolle der Kraft. Offenbar ist das statische Verhältniss der eigentlichen (ersten) Kraft zur (letzten) Last aus den statischen Verhältnissen für sämmtliche einzelne Maschinen zusammengesetzt. Ist daher a : b das Verhältniss der Kraft zur Last bei der ersten Maschine, wenn sie sich im Zustande des Gleichgewichtes befindet, ebenso $a' : b'$ bei der zweiten, $a'' : b''$ bei der dritten u. s. w., Q die Last bei der letzten, x die Last bei der ersten, x' die der zweiten u. s. w., so wird:

$$\begin{array}{l} P : x = a : b \\ x : x' = a' : b \\ x : x'' = a'' : b'' \\ \hline P : Q = a a' a'' : b b' b''. \end{array}$$

Vierter Abschnitt.

Von der Bewegung der Körper *(Dynamik)*.

Im Gegensatze des Gleichgewichtes und der Ruhe heisst die Ortsveränderung eines Körpers Bewegung. Die Bewegung kann auf zweierlei Weise stattfinden; entweder hat der Körper eine fortschreitende Bewegung im Raume, oder es verharrt derselbe zwar im Ganzen an demselben Orte, während die Theile desselben beständig ihre Stelle ändern, wie es bei der Drehung eines Rades um seine Axe der Fall ist. Die Grössen, welche bei der Bewegung eines materiellen Punktes in Betracht kommen, sind die Richtung, der durchlaufene Raum (der Weg) und die Geschwindigkeit (die Zeit). Vergleichen wir die Bewegungen, so wie wir dieselben unmittelbar wahrnehmen, so zerfallen diese in wahre und scheinbare. Unter der wahren Bewegung verstehen wir diejenige, welche der Körper in der That besitzt, und sie ist diejenige, welche zu bestimmen die Aufgabe der Mechanik ist. Die scheinbare Bewegung hingegen ist diejenige, welche wir unmittelbar beobachten, und diese kann in Betracht auf Richtung und Geschwindigkeit von der andern abweichen, wie z. B. wir uns selbst bewegen und zu gleicher Zeit die Bahn eines entfernten Körpers so bestimmen, wie sie uns erscheint, ohne dabei auf unsere eigene Bewegung Rücksicht zu nehmen. Die complicirten Bahnen der Planeten liefern uns, bei Nichtberücksichtigung der Bewegung der Erde, ein auffallendes Beispiel. Man unterscheidet ferner absolute und relative Bewegung, je nachdem der Ort, der bei der Bewegung verändert wird, ein absoluter oder ein relativer ist.

Ein Mensch ist auf einem sich bewegenden Schiffe, wenn er sitzt, in relativer Ruhe gegen das Schiff, in relativer Bewegung zu den Gegenständen am Ufer;

geht er aber so schnell nach dem Hintertheile des Schiffes, als dieses vorwärts geht, so ist er in relativer Bewegung zum Schiffe, in relativer Ruhe aber zum Ufer. Etwas Aehnliches gilt von unserem Verhältniss auf der Erde zu den übrigen Himmelskörpern.

Bei jeder Bewegung haben wir die Richtung derselben zu beachten; ist diese gerade, so heisst die Bewegung eine geradlinige, ist die Bahn gekrümmt, so wird die Bewegung eine krummlinige genannt. Beschreiben alle Punkte des bewegten Körpers parallele Bahnen, so heisst die Bewegung fortschreitend, bleibt während der Bewegung ein Punkt in Ruhe, so schreibt man dem Körper eine drehende Bewegung um diesen Punkt zu. Die Bahn wird nach dem gewöhnlichen Längemasse bestimmt. Der Zeitmessung legt man eine von der Bewegung der Himmelskörper entnommene Grösse, den Tag, zu Grunde.

Der 24ste Theil desselben ist eine Stunde, der 60ste Theil einer Stunde eine Minute, der 60ste Theil einer Minuté eine Secunde, der 60ste Theil dieser eine Tertie; auf dieses Princip gründet sich die Messung der Zeit mittelst der Uhren.

Verbinden wir den durchlaufenen Raum mit der Zeit zu dem Begriffe der Geschwindigkeit, so sind zwei Fälle möglich; die Bewegung ist entweder gleichförmig oder ungleichförmig. Unter der gleichförmigen Bewegung versteht man eine solche, bei welcher in gleichen Zeiten gleiche Räume durchlaufen werden.

Beschreibt bei dieser Bewegung der bewegte Körper während der Zeit t den Weg s, so beschreibt er offenbar während der Zeit 2t den Weg 2s u. s. w.; wenn er binnen der Zeit T den Weg S zurücklegt, so besteht die Proportion

$$S : s = T : t,$$

d. h. bei der gleichförmigen Bewegung verhalten sich die Wege wie die entsprechenden Zeiten. Sonach wird das Gesetz der gleichförmigen Bewegung ausgedrückt durch die Gleichung

$$S = \frac{sT}{t}.$$

Das Verhältniss zwischen Raum und Zeit heisst die Geschwindigkeit. Sagt man, die Geschwindigkeit des Schalles ist 1050 Fuss, so heisst dies mit anderen Worten, der Schall bewegt sich in einer Secunde gleichförmig durch einen Weg von 1050 Fuss, man kann daher sagen: die Geschwindigkeit ist derjenige Raum, welchen ein Körper in einer Secunde zurücklegt. Man erhält die Geschwindigkeit, wenn man mit der Zeit in den während

derselben zurückgelegten Raum dividirt. Die Geschwindigkeit $C = \frac{S}{T}$.

Legt ein Körper 96 Fuss in 24 Secunden zurück, so ist seine Geschwindigkeit $C = \frac{96}{24} = 4$.

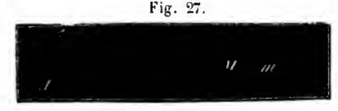
Den Raum erhält man, wenn man die Geschwindigkeit mit der Zeit multiplicirt, also $S = CT$. Soll die Zeit T gesucht werden, die ein Körper mit einer bestimmten Geschwindigkeit C einen gegebenen Raum S durchläuft, so ist $T = \frac{S}{C}$.

Bei den meisten der von uns beobachteten gleichförmigen Bewegungen wird die Bedingung, dass in gleichen Zeiten gleiche Räume durchlaufen werden, nicht in aller Strenge erfüllt; denn betrachten wir z. B. den Zeiger einer Uhr, so beschreibt derselbe zwar in einer gewissen Zeit stets denselben Bogen, aber das Fortrücken der einzelnen Zähne geschieht stossweise.

Bei der ungleichförmigen Bewegung ändert sich die Geschwindigkeit fortwährend und der Körper legt in dem folgenden Zeitabschnitte einen Weg zurück, welcher von dem im vorigen abweicht; nachdem derselbe grösser oder kleiner wird, nennt man die Bewegung beschleunigt oder verzögert. Nimmt die Geschwindigkeit in jedem folgenden Zeitabschnitte um dieselbe Grösse zu oder ab, so heisst sie gleichförmig beschleunigt oder verzögert. Beispiele dieser Art zeigen frei fallende oder vertical in die Höhe geworfene Körper. Ein besonderer Fall ungleichförmiger Bewegung findet dann statt, wenn ein Körper den Zustand der Ruhe verlässt, eine Schnelligkeit erlangt, welche nach einiger Zeit ihr Maximum erreicht, dann wieder abnimmt und endlich verschwindet, worauf er seine Bewegung mit derselben Anwendung der Geschwindigkeit in der entgegengesetzten Richtung wieder beginnt. Eine solche Bewegung zeigt sich an einem Pendel, an dem Kolben einer Dampfmaschine u. s. w.

Wird bei der gleichförmig beschleunigten oder verzögerten Bewegung während eines gewissen Zeitraums T der Weg S beschrieben, so zeigt der Quotient $\frac{S}{T}$ die Geschwindigkeit C an, die der bewegte Körper hätte haben müssen, um eben diesen Weg S während der Zeit T gleichförmig zu durchlaufen. Hat ein materieller Punkt die Bahn *AM* (Fig. 27)

Fig. 27.



beschrieben, und schreitet er während dieses Zeittheils T um das Stück $Mm = S$ weiter; denkt man sich dabei diesen Zeittheil unendlich klein, wobei auch Mm unendlich klein ausfallen muss, so giebt der Quotient $\frac{S}{T}$ die Geschwindigkeit an, welche dem bewegten Körper im Punkte seiner Bahn trennt und mit welcher er fortgehen würde, wenn er von diesem Augenblicke an sich selbst überlassen bliebe.

Betrachtet man die Kräfte, durch welche die Bewegungen hervorgebracht werden, so sind zwei Fälle zu unterscheiden. Die Kraft wirkt nämlich auf einen Körper nur stossweise in einem einzigen Momente und in Folge desselben müsste er sich nach dem Gesetze der Trägheit geradlinig und gleichförmig fortbewegen; oder die Kraft wirkt in jedem Moment auf den Körper ein und ändert dadurch entweder seine Geschwindigkeit, oder auch zugleich seine Richtung. Die erste Klasse von Kräften heisst momentan wirkende, letztere stetig wirkende oder continuirliche Kräfte. Eine stetig wirkende Kraft wirkt entweder mit derselben Intensität auf das Bewegliche, oder die Intensität der Kraft ändert sich während der Bewegung. Im ersten Falle heisst die continuirliche Bewegung eine beständige, im zweiten eine veränderliche. Die Wirkung einer stetig wirkenden Kraft besteht darin, während einer gewissen Zeit eine gewisse Geschwindigkeit zu erzeugen, welche das Bewegliche in Folge seiner Trägheit aufnimmt und beizubehalten sucht. Eine beständige continuirliche Kraft bewirkt während gleichen Zeiten gleiche Geschwindigkeit, und die Geschwindigkeit, welche das Bewegliche schon besitzt, wird um eine der Zeit proportionale Grösse geändert. Eine solche Kraft wird daher für sich allein eine gleichförmig beschleunigte oder eine gleichförmig verzögerte Bewegung hervorbringen, je nachdem sie in dem Sinne der dem Beweglichen bereits eigenen Geschwindigkeit, oder in der entgegengesetzten Richtung wirkt

Eine veränderliche continuirliche Kraft wird ihrer Intensität nach in jedem Augenblicke durch die Geschwindigkeit repräsentirt, welche sie einer bestimmten Masse während einer bestimmten Zeit ertheilen würde, wenn sie mit der Stärke, die sie in dem genannten Augenblicke besitzt, während der ganzen Zeit unverändert fortwirkt.

Als Beispiel der Wirkung einer veränderlichen continuirlichen Kraft sei Folgendes angeführt: Ein frei beweglicher materieller

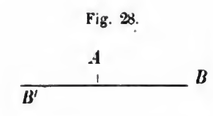
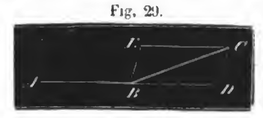


Fig. 28.

Punkt sei an einen gewissen Ort (Fig. 28) gebunden, dass er, wenn er in irgend einem Abstande *A H* von diesem Orte sich befindet, mit einer verhältnissmässigen Kraft gegen *A* hingetrieben wird, wie wir dies bei elastischen Körpern in der That später sehen werden. Wird dem Beweglichen in *A* eine bestimmte Geschwindigkeit nach der Richtung *A B* ertheilt, und dasselbe darauf sich selbst überlassen, so muss es nothwendig mit ungleichförmig verzögerter Bewegung bis zu einem gewissen Punkte *B* fortgehen, bis seine Geschwindigkeit durch die immer mehr anwachsende Gegenkraft gänzlich aufgehoben ist. Es wird sich hierauf ungleichförmig beschleunigt gegen *A* zurückbewegen, und von da seine Bewegung nach *B'* fortsetzen. Von *B'* geht das Bewegliche wieder nach *A* zurück und bewegt sich, wenn keine Hindernisse eintreten, ohne Unterlass hin und her. Eine solche hin- und hergehende Bewegung heisst schwingende Bewegung, Schwingung oder Oscillation. Der Punkt der Bahn, in welchem das schwingende Theilchen sich während eines bestimmten Augenblickes befindet, in Verbindung mit der Richtung, nach der es seine Bewegung fortsetzt, bestimmt den diesem Zeitpunkte entsprechenden Bewegungszustand oder die Phase des Theilchens. Die Zeit zwischen zwei unmittelbar auf einander folgenden Phasen giebt die Dauer einer Schwingung (Undulationszeit); der grösste Abstand des Theilchens *A* von seiner Gleichgewichtslage (nämlich *A B* oder *A B'*) heisst die Schwingungsweite (Amplitude), und die grösste Geschwindigkeit, die das Theilchen bei einer Schwingung erlangt, die Intensität der Schwingung. Phasen, welche von einander um eine halbe Schwingung abstehen, werden entgegengesetzte genannt.

Ein in Bewegung befindlicher materieller Punkt strebt in Folge seiner Trägheit stets geradlinig fortzugehen; findet trotzdem eine krummlinige Bewegung statt, so kann man auf das Vorhandensein einer von der geraden Richtung ablenkenden Kraft, oder eines Hindernisses schliessen, welches letztere einen Druck auszuhalten hat. Folgendes Beispiel mag dazu dienen, um sich von jener ablenkenden Kraft oder jenem Drucke eine Vorstellung zu verschaffen. *A B* und *B C* (Fig. 29) seien zwei unendlich kleine, während gleicher Zeittheile beschriebene Stückchen eines materiellen Punktes, die man als gerade Linien betrachten

Fig. 29.



kann, deren Richtungen unter dem Winkel ABC auf einander folgen. Wäre kein Hinderniss vorhanden gewesen, so wäre A von B nach D gegangen und hätte während des zweiten Zeittheilchens den Weg $BD = AB$ beschrieben. Verbindet man D mit C und zieht BE und CE parallel zu CD und BD, so ist BE die Richtung der Kraft, die den bewegten Körper in B von der Richtung AB abgelenkt hat. Stellt man sich das Bewegliche in B ruhend vor und von zwei Kräften mit den Richtungen BD und BE beherrscht, welche einzeln solche Geschwindigkeiten erzeugen, dass das Bewegliche binnen gleichen Zeiten die Wege BE und BD durchlaufen würde, so verhalten sich diese Kräfte wie $BD : BE$. Mithin bilden sie eine Resultirende, welche der Diagonale des Parallelogramms $BDCE$ entspricht; der bewegte Körper durchläuft deshalb innerhalb des festgesetzten Zeittheilchens den Weg BC.

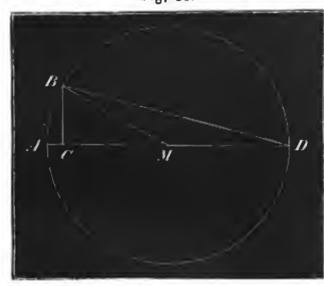
Angenommen, es sei ein materieller Punkt gezwungen, auf einer gegebenen krummen Linie zu bleiben, auf der er sich ohne irgend ein Hinderniss fortbewegen kann. Derselbe habe durch eine Kraft eine bestimmte Geschwindigkeit erhalten und werde sich selbst überlassen. Die Bewegung wird nun auf der vorgeschriebenen Bahn in Folge blosser Trägheit erfolgen. AB und BC (Fig. 30) seien zwei an einander grenzende Stückchen der vorgeschriebenen Bahn, binnen gleichen Zeittheilchen beschrieben; wir betrachten diese Stückchen als gerade Linien, welche den Winkel ABC bilden. Hätte das Bewegliche sich völlig frei bewegen können, so würde es während des zweiten Zeittheilchens bis D gekommen sein. Verbindet man C mit D und zieht BF und DF parallel mit CD und CB, so entsteht das Parallelogramm, dessen Diagonale BD ist. Stellt man sich vor, die in B dem Beweglichen innewohnende Bewegungsgrösse sei in zwei Componenten nach den Richtungen BC und BF zerlegt, so geben diese Richtungen die Bahnen, welche das Bewegliche dieser Componenten einzeln während des genannten Zeittheilchens beschreiben würde. Da nun in dem vorliegenden Falle der materielle Punkt der Richtung BC folgt, so musste die nach BF wirkende Componente vernichtet worden sein. Diese Vernichtung geschah durch den Widerstand der Bahn, die Richtung BF muss demnach nothwendiger Weise senkrecht gegen BC sein. Da nun demzufolge das Parallelogramm $BFCD$ ein Rechteck, sonach auch der Winkel BCD ein rechter ist, so ist $BC < BD$.

Fig. 30.

Das Bewegliche musste mithin bei dem Uebergange von der Richtung AB in die Richtung BC in B einen Verlust an Geschwindigkeit erleiden. Dieser Verlust findet aber nur insofern statt, als der Winkel DBC ein endlicher ist; wird dieser Winkel unendlich klein, so wird die Bewegung mit der früheren Geschwindigkeit fortgesezt. Verlängert man BC mit H, sodass $BH = BD$ wird, verbindet man H mit D und zieht BK senkrecht auf DH, so stellt CH den Unterschied zwischen BD und BC vor. Wird der Winkel CBD unendlich klein gedacht, so verschwindet der Unterschied. Um aber ein richtiges Resultat zu erlangen, wenn es sich um eine stetige krumme Linie dreht, muss man $BC = BD$ setzen. Somit gelangt man zu dem Satze, dass die Bewegung eines materiellen Punktes auf vorgeschriebener Bahn, in Folge blosser Trägheit, jederzeit eine gleichförmige ist, und dass nur an den Stellen, wo die Bahn eine Ecke bildet, ein Verlust an Geschwindigkeit entsteht.

Bewegt sich ein materieller Punkt in einer krummen Bahn, so sucht derselbe vermöge der Trägheit diese Bahn in jedem Augenblicke in tangentialer Richtung zu verlassen. Der Körper übt dem zu Folge fortwährend einen Druck gegen die Bahn oder einen Zug gegen dasjenige (Kraft oder Widerstand) aus, was ihn die krumme Bahn zu verlassen hindert; dieser Druck heisst die **Fliehkraft**, **Schwungkraft**, **Centrifugalkraft**. Um die Grösse dieser Kraft zu bestimmen, kann man sich folgender Betrachtungsweise bedienen. Ein materieller Punkt A (Fig. 31) werde an dem Faden MA in dem Kreise ABD geschwungen. Da der Punkt, sich selbst überlassen, die Richtung der Tangente verfolgen würde, so erleidet er in jedem Augenblicke durch den Widerstand des Fadens eine Ablenkung, welche nur in der Richtung des Radius stattfindet. Die Einwirkung des Fadens auf den Punkt ist daher als eine fortwährend gegen den Mittelpunkt des Kreises beschleunigende Kraft anzusehen, die Bewegung des Punktes auf der Kreisperipherie ist mithin völlig gleichförmig und die Einwirkung des Fadens in jedem Punkte dieselbe. Neh-

Fig. 31.



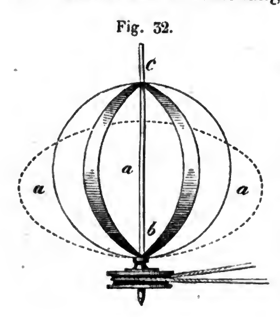
men wir an, dass der Punkt in der unendlich kleinen Zeit den unendlich kleinen Bogen *AB* beschreibt, so kann für diese Zeit die aus der Spannung des Fadens hervorgehende, den Punkt nach *M* treibende Kraft als parallel betrachtet und die Ablenkung des Punktes von der Tangente mit dem Fall eines horizontal geworfenen Körpers verglichen werden. Diese Ablenkung = AC, oder da AC : AB = AB : AD, gleich

$$\frac{AB^2}{AD} = \frac{V^2T^2}{2R},$$

wo R den Radius, V die Geschwindigkeit und T die Zeit bezeichnet. Aus diesem Ausdruck findet man durch Division mit dem Quadrat der Zeit und Multiplication mit 2, für den Werth der beschleunigenden Kraft des Fadens, $\frac{V^2}{R}$. Diese Grösse ist zugleich das Mass der Fliehkraft.

Wenn sich ein Körper um eine Axe dreht, so erhalten alle ausserhalb derselben Richtung liegenden Theile ein Bestreben, sich nach einer auf ihr senkrechten Richtung zu entfernen. Sind nun die Theile eines Körpers verschiebbar, so erfolgt dadurch eine Aenderung in seiner Gestalt und nach Befinden auch eine Trennung seiner Theile. Eine weiche Kugel, die sich um einen ihrer Durchmesser dreht, nimmt eine abgeplattete Gestalt an, da die Theile, welche in der Ebene des grössten, auf der Axe senkrechten Kreises liegen, eine grössere Fliehkraft haben als diejenigen, welche sich in den Ebenen der kleineren Kreise befinden. Unter den zahlreichen Erscheinungen, die ihren Grund in der Wirkung der Fliehkraft haben, ist die Abplattung der Erde eine der wichtigsten; dieselbe lässt sich sehr gut durch folgende Vorrichtung versinnlichen, welche in Fig. 32 abgebildet ist und in einem aus dünnen, kreisförmig zusammengebogenen Messingstreifen *a* angefertigten Kugelgerippe besteht, dass schnell um die verticale Axe *bc* gedreht werden kann. Die Streifen *a* sind unten bei *b* an die Axe befestigt, bei *c* dagegen geht sie frei durch dieselbe hindurch. Wird das Gerippe gedreht, so verliert es die Kugelgestalt und nimmt die punktirte

Fig. 32.



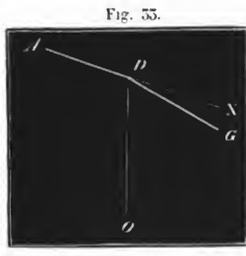
abgeplattete Form an. Hört man auf zu drehen, so nimmt das Gerippe, vermöge der Elasticität, die ursprüngliche Kugelform wieder an.

Beispiele von der Wirkung der Fliehkraft. Ein Hammer trennt sich vom Stiele, wenn hinreichend schnell geschwungen wird. Grosse Schwungräder, Mühlsteine u. s. w. zerreissen bei zu schnellem Rotiren, so dass Stücke herumgeschleudert werden; in diesem Falle wird die Fliehkraft grösser, als die Cohäsionskraft, durch welche die Stücke zusammengehalten werden. Auf der Wirkung der Fliehkraft beruht auch, dass ein Glas mit Wasser, in einen Reifen gestellt, bei schnellem verticalen Umschwunge weder herausfällt, noch das Wasser entlässt: oder Eier in einem Korbe, wenn derselbe am Henkel rasch in verticalem Kreise geschwungen wird, ruhig liegen bleiben. Eine Flintenkugel, welche in einen spiralförmig gekrümmten, continuirlichen Kanal, der aus mehreren in der Ebene einer Scheibe liegenden Windungen besteht, gebracht wird, fährt, wenn die Scheibe schnell gedreht wird, aus dem Ende des Kanals mit solcher Kraft hervor, dass ein in grosser Entfernung aufgestelltes Bret durchbohrt wird (Steinheil's Centrifugalgeschoss). Bei der Fabrikation des Fensterglases benutzt der Glasbläser die Centrifugalkraft, um durch Schwenken der an der Pfeife befindlichen aufgeblasenen Glasmasse die Cylinderform zu geben. Aus der Wirkung dieser Kraft erklärt sich das Umherspritzen sich drehender, nasser Gegenstände, die Wirkung der Schleuder. Vermittelst der Schwungmaschine (ein Gestell, aus zwei ungleichen horizontalen Scheiben zusammengesetzt, welche durch eine Schnur mit einander verbunden sind, und von welcher die grössere mit einer Kurbel zum Drehen, die kleinere aber, die Schwungscheibe, zum Aufstellen des Gegenstandes, an welchem die Wirkung der Schwungkraft gezeigt werden soll, bestimmt ist) lassen sich eine grosse Anzahl von Erscheinungen hervorbringen.

Technische Anwendungen findet die Schwungkraft namentlich bei dem von Watt erfundenen Regulator der Dampfmaschine (siehe später Dampfmaschine), bei dem Centrifugalgebläse, bei welchem in einem cylindrischen Gehäuse sich Flügel aus Eisenblech befinden, welche durch eine horizontale Axe 800—1200 mal in der Minute herumgedreht werden. Um die Axe befindet sich in jeder Seitenfläche eine Oeffnung, durch welche die Luft eintritt, sie wird durch die Flügel in rotirende Bewegung gesetzt, vermöge der Fliehkraft nach der Peripherie des Flügelendes getrieben und verlässt dasselbe in tangentialer Richtung durch den Ausmündungskanal. Ein ähnlicher Apparat, der Ventilator, dient in den Bergwerken u. s. w. zum Reinigen der Luft. Die Centrifugal-Trockenmaschine (Hydro-Extracteur), welche zum schnellen Trocknen der Garne oder Gewebe aus Wolle, Baumwolle u. s. w. angewendet wird, besteht aus zwei in einem Kasten eingeschlossenen und an den entgegengesetzten Seiten in

einer horizontalen Axe befestigten Körben von Metallgeflecht. Wird in diese Körbe das zu trocknende Zeug gelegt und die Axe rasch herumgedreht, so fliesst das Wasser durch die Fliehkraft aus dem Zeuge aus und letzteres kann in wenigen Minuten lufttrocken gemacht werden. Eine ähnliche Maschine wendet man jetzt in den Zuckerraffinerien an, um den Syrup aus dem Zucker zu entfernen. — Die Wassermaschine von Hess von Langsdorf besteht im Wesentlichen aus zwei oder mehreren nach aufwärts divergirenden Röhren, deren untere Enden ins Wasser tauchen; dreht man diese Röhren vermittelst einer angebrachten Kurbel, so wird durch die Fliehkraft das Wasser in den Röhren emporgehoben und fliesst oben aus den Röhren aus. Das sogenannte Schwungrad bei Maschinen ist ein massives Rad, welches man mit einer Maschine in Bewegung setzt, um vermittelst seines Beharrungsvermögens die Ungleichförmigkeit der Action der bewegenden Kraft auszugleichen.

Fig. 33.



Es werde ein vollkommen freier, in A (Fig. 33) befindlicher materieller Punkt durch eine momentane Kraft nach der Richtung AX getrieben; zu derselben Zeit wirke aber auch eine stetige Kraft auf ihn ein, deren Richtung gegen einen ausserhalb der Geraden AX liegenden fixen Punkt O zieht. Dadurch entsteht eine krummlinige Bewegung nach DG, welche man Centralbewegung nennt. Der fixe Punkt heisst der Mittelpunkt der continuirlichen Kraft oder der Centralpunkt; diejenige Kraft, welche den beweglichen Körper beständig gegen den Centralpunkt hintreibt, die Centralkraft oder Centripetalkraft; die in jedem Punkte der Bahn längs der Tangente sich äussernde Bewegungskraft, die Tangentialkraft. Eine vom Centralpunkte zum Beweglichen gezogene gerade Linie heisst der Radius vector. Es versteht sich, dass die vom Beweglichen beschriebene Bahn in der Ebene liegen muss, in welcher sich die Linie AX und der Punkt O befindet. Die Gestalt der Bahn hängt von der Stärke des anfänglichen Stosses, oder von der Geschwindigkeit der ursprünglichen Bewegung, von der Stärke und dem Gesetze der Wirkung jener Anziehung und von der Lage des Centralpunktes ab. Bei einer durch Centralbewegung beschriebenen Bahn beschreibt die vom Centralpunkte zum bewegten Körper gehende Linie (der Radius vector) in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume; in verschiedenen

Zeiten sind demnach die vom Radiusvector beschriebenen Flächenräume diesen Zeiten selbst proportional.

Ein Beispiel der Centralbewegung ist die Bewegung der Planeten und Kometen um die Sonne und die der Monde um ihre Planeten, von welchen der Grund in der von dem Mittelpunkte der Sonne und der Planeten ausgehenden, fortwährend wirkenden Anziehungskraft (Gravitation oder allgemeine Schwere) und in einem momentanen Stosse zu suchen ist, den die Planeten und ihre Monde einmal nach Richtungen erhalten haben.

Geht die Centralbewegung in einem Kreise vor sich, dessen Mittelpunkt zugleich der Centralpunkt ist, so hat das Bewegliche stets dieselbe Geschwindigkeit, die Bewegung ist also eine gleichförmige; die Bewegung der Erde und der übrigen Planeten um ihre Axe liefert eine Bestätigung dieses Satzes.

Findet die Bewegung aber in einer Ellipse statt, in deren einem Brennpunkte sich der Centralpunkt befindet, wie dies bei Planeten der Fall ist, die sich in elliptischen Bahnen um die Sonne bewegen, deren in dem einen Brennpunkte befindlicher Mittelpunkt den Centralpunkt bildet, so hat das Bewegliche in dem, den Centraltralpunkt nächsten Scheitel der Ellipse die grösste, in dem anderen Scheitel die kleinste Geschwindigkeit, und diese nimmt vom ersteren zum letzteren hin stetig ab, vom letzteren zum ersteren hin stetig zu, indem bei den Senkrechten, welche auf die zu den verschiedenen Punkten der Ellipse gezogenen Tangenten gefällt werden, gerade das umgekehrte Verhältniss stattfindet. Ist $afbg$ (Fig. 34) eine Ellipse, so heisst ab ihre grosse Axe, fg ihre kleine; d ist ihr Mittelpunkt, c und e ihre Brennpunkte. Wenn man von einem Punkte des Umfanges der Ellipse h nach den Brennpunkten die Linien hc und he zieht, so sind diese Linien Radii vectores; die Summe derselben ist stets so gross als die grosse Axe ab.

Fig. 34.

Keppler hat in Bezug auf die Bahnen der Planeten unseres Sonnensystems folgende drei Gesetze aufgestellt: 1) Die Bahnen der Planeten sind Ellipsen, deren einen Brennpunkt die Sonne einnimmt; 2) Die Planeten bewegen sich in ebenen Curven und ihre Radii vectores beschreiben um den Mittelpunkt der

Sonne Flächenräume, die den Zeiten proportional sind; 3) Die Quadrate der Umlaufszeiten um die Planeten verhalten sich zu einander, wie die Cuben der mittleren Entfernungen. Wir kommen hierauf später wieder zurück.

Vom Stosse fester Körper.

Wenn ein in Bewegung begriffener fester Körper auf einen andern ruhenden oder bewegten festen Körper trifft, so erleiden ihre Bewegungen eine Aenderung. Ein solches Zusammentreffen heisst Stoss. Der Stoss wird gerade genannt, wenn die Richtung der Bewegung auf der Ebene, wo sie einander im Anfange des Stosses berühren, senkrecht ist; im entgegengesetzten Falle schief. Central nennt man den Stoss, wenn die Richtung der Körper von dem Stosse durch den Mittelpunkt ihrer Masse (durch den Schwerpunkt) geht; excentrisch, wenn dies nicht der Fall ist. Bei gleichmässig dichten (homogenen), kugelförmigen Körpern ist jeder gerade Stoss auch ein centraler.

Stösst eine unelastische Kugel gegen eine unelastische und unbewegliche Wand, so wird die Bewegung der Kugel durch den Widerstand der Wand aufgehoben. Wand und Kugel werden dabei in dem Masse, als ihre Theilchen verschiebbar sind, einander zusammendrücken und die Kugel wird nach dem Stosse ruhen. Geht der Stoss z. B. gegen eine horizontale Wand *ab* (Fig. 35) in der schiefen Richtung *cd* vor sich, so kann die Geschwindigkeit der Kugel, die der Grösse nach durch die Linie *de* vorgestellt sein soll, in die Componenten *df* und *dg* zerlegt werden, von denen die eine *dg* zur Wand senkrecht ist, mithin aufgehoben wird, während die andere *df* eine Bewegung der Kugel längs der Wand bewirkt.

Fig. 35.

Gerader Stoss unelastischer, nach einerlei Richtung sich bewegender Kugeln. M und C seien die Masse und Geschwindigkeit der einen, m und c die der andern Kugel, und C $>$ c, so sind die Grössen der Bewegung beider Kugeln vor dem Stosse MC und mc. Wird die eine Kugel m von der andern M eingeholt und gestossen, so kann die letztere auf die erstere nur so lange einwirken, bis beide mit gleicher Geschwindigkeit V hintereinander fortgehen. Die nachfolgende Kugel M hat die Geschwindigkeit C — v und die Grösse der Bewegung M(C — v) ver-

loren; die Kugel m aber hat die Geschwindigkeit $V - c$ und die Grösse der Bewegung $m(v - c)$ gewonnen. Da die eine Kugel um so viel gewinnen kann, als die andere verliert, so ist

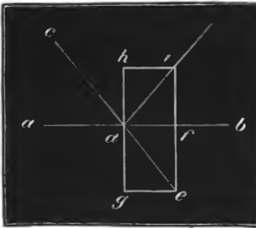
$$M(C - v) = m(v - c), \text{ also } v = \frac{MC + mc}{M + m}$$

1) die Grösse der Geschwindigkeit, mit der beide Kugeln nach dem Stosse in derselben Richtung weiter gehen. In dem Falle, in welchem die eine Kugel m vor dem Stosse ruht, aber beweglich ist, ist $c = 0$, somit $v = \frac{MC}{M + m}$ 2) für die Geschwindigkeit beider Kugeln nach dem Stosse. Stellt man sich vor, dass die Geschwindigkeit c der Kugel m in die entgegengesetzte übergehe, so dass jetzt beide Kugeln sich in gerader Richtung gegen einander bewegen, so muss man anstatt c, $-c$ setzen; v ist dann $= \frac{MC - mc}{M + m}$ 3) als Geschwindigkeit beider Kugeln nach dem Stosse.

Fig. 36.

Erfolgt der Stoss einer elastischen Kugel senkrecht gegen eine harte unbewegliche Ebene, so wird die Kugel in Folge des Widerstandes der Wand zusammengedrückt, als wenn sie unelastisch wäre, und ihre ganze Geschwindigkeit ist verloren. Darauf tritt aber die Wirkung der Elasticität ein, der zu Folge alle Theilchen der Kugel von der Wand zurückgetrieben werden, und sie nimmt ihre vorige, in der Zeichnung (Fig. 36) punktirt angedeutete Gestalt wieder an. Die Kugel wird daher mit derselben Geschwindigkeit und in der nämlichen Richtung von der Wand abprallen, mit welcher sie sich gegen die Wand bewegt. Bei dem schiefen Stosse gegen die Wand zerfällt die Bewegung der Kugel in eine gegen die Wand senkrechte und in eine zur Wand parallele Componente. cd (Fig. 37) sei die Richtung der an die ebene Wand ab stossenden elastischen Kugel; zerlegt man die Geschwindigkeit de der Kugel in die Componenten df und $dg = fe$, so kann nur derjenige Theil der bewegenden Kraft, welcher der Componente dg zu Grunde liegt, eine Zu-

Fig. 37.



sammendrückung der Kugel bewirken, und die Geschwindigkeit, mit der die Kugel vermöge der Elasticität von der Wand hinweggetrieben wird, muss demnach der Componente *dg* entgegengesetzt und gleich sein, so dass sie durch die in die Verlängerung von *dg* fallende Linie *dh* vorgestellt wird. Die Kugel soll sich nun nach *h*, gleichzeitig aber auch, in Folge der unverändert gebliebenen Componente *df*, nach *f* bewegen; sie muss deshalb die Richtung der Diagonale *di* des Parallelogramms *hidf* annehmen. — Eine solche durch die Elasticität bewirkte Abänderung der Bewegung eines an eine feste Wand stossenden Körpers nennt man Reflexion oder Zurückwerfung.

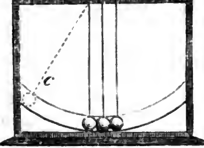
Auf dem Gese'ze des Stosses einer elastischen Kugel gegen eine andere ruhende von gleicher Masse, eben so wie gegen eine feste Wand, beruht das Billardspiel; es kommt jedoch hierbei nicht nur die fortschreitende Bewegung der Kräfte, sondern auch die durch den excentrischen Stoss und durch Reibung an der Unterlage bewirkte drehende Bewegung in Betracht.

Vollkommen elastische, nach einerlei Richtung sich bewegende Kugeln von gleichen Massen vertauschen während des Stosses an einander ihre Geschwindigkeiten; wenn eine dieser Kugeln ruht, so wird dieselbe nach dem Stosse mit der Geschwindigkeit der stossenden sich fortbewegen, diese hingegen ruhen. Dieses Resultat lässt sich auf eine beliebige Anzahl von Kugeln ausdehnen. Stösst eine elastische Kugel *a* (Fig. 38) gerade gegen die erste *b* mehrerer anderen gleichgrossen elastischen, an Fäden hängenden Kugeln *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g* ...., so muss die letzte Kugel *g* mit der Geschwindigkeit der stossenden *a* sich von den übrigen wegbewegen, und die stossende *a* sammt allen übrigen Kugeln werden, sich gegenseitig berührend, in Ruhe bleiben.

Fig. 38.

a b c d e f g

Fig. 39.



Um die Uebereinstimmung der Gesetze vom Stosse fester Körper mit der Erfahrung zu prüfen, bedient man sich der Stossmaschine von s'Gravesande und Nollet (Fig. 39), welche im Wesent-

lichen aus mehreren an gleichlangen Fäden hängenden Kugeln besteht, die einander so berühren, dass ihr Mittelpunkt in derselben Höhe liegt. Hinter demselben befindet sich ein Kreisbogen, der von seinem tiefsten Punkte an zu beiden Seiten aufwärts in Grade getheilt ist. Wird eine dieser Kugeln bis *c* gehoben und dann freigelassen, so erlangt sie eine Geschwindigkeit, die sich bestimmen lässt und am Gradbogen angemerkt werden kann. Zu Versuchen über den Stoss fester Körper von sehr geringer Elasticität nimmt man Massen aus trockenem Thon oder Mehlteig, für elastische aber wählt man Elfenbein oder Guajakholz.

Zu der Fortpflanzung eines Stosses durch einen elastischen Körper hindurch ist Zeit erforderlich; daher können durch einen sehr raschen Stoss die zunächst getroffenen Körpertheile von den übrigen getrennt werden, ohne dass letztere in Bewegung gerathen. Hierin findet eine grosse Anzahl wichtiger Erscheinungen ihre Erklärung.

Ein frei aufgehängtes Bret wird von einer abgeschossenen Flintenkugel durchbohrt, ohne in Schwankung zu kommen; eben so kann man mit einer Kugel ein Loch durch eine Fensterscheibe schiessen, ohne dass diese weiter beschädigt wird. Nach Jessop's Verfahren werden Felsen gesprengt, indem man in ein Bohrloch die gehörige Menge Schiesspulver füllt, von diesem, bis über das Bohrloch hinaus, einen inwendig mit Pulver angefüllten Strohhalm gehen lässt, der Raum um den Strohhalm herum mit lockerem Sande ausfüllt und auf den Strohhalm ein Stück brennenden Schwammes steckt. Beim Entzünden des Schusses wird nicht der lockere Sand aus dem Bohrloche geschleudert, wie man glauben sollte, sondern der Felsen gesprengt. Das Zerspringen hohlgeladener Schiessgewehre gehört ebenfalls hierher, eben so wie das Verfahren der Glasschleifer, Graveure u. s. w., vermittelst einer sehr schnell rotirenden Scheibe von weichem Eisen den härtesten Stahl, vermittelst einer Scheibe von Kupfer Glas, Quarz, Achat u. s. w. zu schneiden.

Hindernisse der Bewegung.

Obgleich die Gesetze der Bewegung aus den allgemeinen Eigenschaften der Materie und aus Voraussetzungen über die Wirksamkeit der Kräfte gefolgert worden sind, deren Gültigkeit keinem Zweifel unterliegt, so lassen sich dieselben doch in der Erfahrung selten in ihrer Reinheit wahrnehmen. In der Wirklichkeit erleiden diese Gesetze mancherlei Modificationen, da fast jede Bewegung einen Widerstand findet. Läge ein Körper mit absolut glatten Flächen auf einer absolut glatten horizontalen Unterlage, so müsste die geringste Kraft eine gleichförmige Bewegung hervorbringen und es würde nur der Widerstand der Trägheit zu überwinden sein.

Da die Körper aber niemals absolut so glatt sind, dass, wenn einer auf dem andern sich befindet, sie von einander scharf gesondert bleiben, so dringen die Erhöhungen des einen in die Vertiefungen des andern ein und die Körper haften dann fest aneinander. Soll nun ein Körper, der auf einer Unterlage ruht, in Bewegung gesetzt werden, so müssen entweder, wie bei sehr rauhen Flächen, die Hervorragungen abgerissen werden, oder der Körper muss über die Erhabenheiten hinweggehoben werden, wie dies bei wohlgeebneten Flächen stattfindet. In beiden Fällen aber ist ein Kraftaufwand erforderlich. Dieser ist es, welcher die Grösse des Hindernisses, den Widerstand, welcher hier durch das Wort *Reibung* (Friction) bezeichnet wird, misst. Man unterscheidet *Reibung der Ruhe* und *Reibung der Bewegung*. Die Grösse der Kraft oder des Widerstandes, die beim Uebergange eines Körpers von der Ruhe zur Bewegung zu überwinden ist, gilt für das Mass der *Reibung der Ruhe*. Die Kraft, welche auch während der Bewegung fortwirkt und dieselbe zu hindern strebt, nennt man die *Reibung der Bewegung*.

Man unterscheidet 1) gleitende Reibung,
2) drehende oder Zapfen-Reibung,
3) wälzende oder rollende Reibung.

Die *gleitende Reibung* tritt da auf, wo eine Oberfläche sich über eine andere Oberfläche hinschiebt. Die Ursachen derselben sind in der Beschaffenheit der Oberflächen zu suchen. Alle Flächen, selbst die polirtesten, haben kleine Erhöhungen und Vertiefungen. Bewegt sich nun eine Fläche über die andere hin, so müssen die Erhöhungen des gleitenden Körpers über die Erhöhungen der Bahn hinweggehoben werden und es findet mithin ein stetiges Aufsteigen und Niedersinken auf schiefen Ebenen statt (vergleiche Fig. 40). Wären die kleinen Erhöhungen der Bahn stetig gekrümmt, so würden dieselben keinen Verlust an Kraft herbeiführen; dies ist aber nie genau der Fall. Deshalb finden Stösse statt, welche Kraft in Anspruch nehmen. Die Umstände, von denen die Grösse der Reibung abhängt, sind: 1) der Druck des gleitenden Körpers auf seine Bahn, 2) die Beschaffenheit der aufeinander gleitenden Flächen. Die Be-

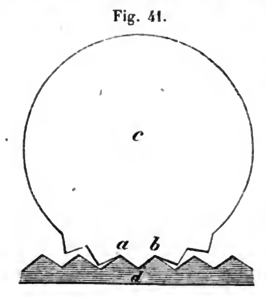
Fig. 40.

merkung, dass die Grösse der Reibung in vielen Fällen dem Drucke proportionirt ist, hat zur Aufsuchung der Zahl veranlasst, mit welcher man den Druck multipliciren muss, um den Betrag der Reibung zu finden. Diese Zahl nennt man den Reibungscoëfficienten, durch welchen die Gleichungen des Gleichgewichts an den Maschinen auf verschiedene Weise abgeändert werden. Dieser Coëfficient ändert sich mit der Beschaffenheit des Körpers und der Politur der Oberflächen, welche mit einander in Berührung kommen.

Die Zapfenreibung ist eine gleitende Reibung, bei welcher nur im tiefsten Punkte des Lagers ein Normaldruck stattfindet. Sie ist demnach, unter übrigens ganz gleichen Umständen, stets kleiner als die gleitende Reibung.

Die wälzende Reibung findet statt, wenn Körper auf einer Bahn fortrollen. Hier tritt die Unterlage fortwährend mit andern Punkten des Körpers in Berührung. Die wälzende Reibung ist viel geringer als die gleitende, wie dies Fig. 41 erläutern mag. Will man den runden Körper *c* auf seiner Unterlage fortwälzen, so muss er zuerst die kleine schiefe Ebene *db* hinauf gezogen werden, wobei sein Schwerpunkt um die Höhe dieser Ebene oder um so viel gehoben wird, als *d* unter *b* liegt. Soll aber der Körper auf der Unterlage fortrollen, so muss er sich um den Punkt *b* der Hervorragung drehen. In Bezug auf die Art und Weise, wie der Halbmesser eines Cylinders bei der Berechnung der wälzenden Reibung sich geltend macht, stimmen alle Erfahrungen darin überein, dass sie mit zunehmenden Halbmessern abnimmt.

Fig. 41.



Um die Gesetze der Reibung durch den Versuch zu ermitteln, wendete Muschenbroek, später Coulomb (1781) und in der neueren Zeit Morin (1833) sogenannte Reibungsapparate an. Der Apparat, dessen sich Morin bediente, bestand in einem belasteten Schlitten, welcher durch ein daran befestigtes und horizontal über eine Rolle geleitetes Zugseil, vermittelst angehängter Gewichte, über eine horizontale Bahn fortgezogen wurde. Die angehängten Gewichte geben die Reibung der Ruhe und, durch den Druck dividirt, den Reibungscoëfficienten.

Für die gleitende Bewegung sind folgende Gesetze gefunden worden: 1) Die Reibung ist proportional dem Drucke; 2) Die Reibung ist unabhängig von der Grösse der Berührungsflächen; 3) Die Reibung ist grösser bei rauhen Flächen; 4) die Reibung hängt ab von der Beschaffenheit der beiden übereinander gleitenden Flächen und von der Form der oben erwähnten kleinen Erhöhungen; 5) bei Körpern die nach verschiedenen Richtungen gleiches Gefüge haben, ist die Reibung auch nach verchiedenen Richtungen verschieden; 6) durch Schmieren kann die Reibung sehr vermindert werden; 7) die Reibung der Ruhe ist bei Hölzern grösser, als die Reibung der Bewegung; bei Metallen dagegen ist sie eben so gross; 8) die Reibung der Ruhe wächst mit der Berührungsdauer bis zu einem Maximum, wo sie stehen bleibt. Dieser Werth ist bei Metallen sogleich erreicht, bei Hölzern in einer längeren Zeit; 9) die Reibung der Bewegung ist unabhängig von der Geschwindigkeit.

Um den Reibungscoëfficienten zu bestimmen, mag folgendes Beispiel dienen. Will man auf einer Eisenbahn eine Last von einem Centner fortschleifen, so würde man, wenn die Unterfläche der Schleife ebenfalls aus Eisen besteht, durch den Versuch finden, dass dazu 27,7 Pfund erforderlich seien. Wenn sich Eisen auf Eisen reibt, so beträgt für diesen Fall der Reibungswiderstand 27,7 p. Ct.; der Reibungscoëfficient ist also 0,277. — Folgende Tabelle enthält einige für die Praxis wichtige Reibungscoëfficienten:

Eisen auf Eisen	0,277
Eisen auf Messing	0,263
Eisen auf Kupfer	0,170
Eiche auf Eiche	0,418 $=$ 0,273 $+$
Eiche auf Kiefer	0,667
Kiefer auf Kiefer	0,562

(Bei Hölzern bedeutet $=$ Bahn in Richtung der Fasern, $+$ Langholz auf Querholz, $\perp$ Hirnholz auf Langholz). Um die Reibung zu vermindern, gebraucht man zweckmässige Schmiermittel, wie Oel für Metalle auf Metalle; Wasser für Metalle auf Stein; Talg, Seife oder Graphit für Holz auf Holz; man glättet ferner die Oberflächen, man vermindert das Gewicht des Körpers so viel als möglich, man vermeidet die Gleichartigkeit der sich reibenden Körper und ändert die gleitende Bewegung in eine wälzende um.

Ist einerseits die Reibung nachtheilig wegen des durch sie bewirkten Verlustes eines nicht unbedeutenden Theiles der bewegenden Kräfte, so gewährt sie auf der andern Seite vielfachen und grossen Nutzen. Ohne Reibung könnte kein Körper auf einer schiefen Ebene fest ruhen, ohne dieselbe könnte man Körper weder zusammennageln noch zusammennähen; auf den Eisenbahnen würde die Locomotive weder sich, noch den Convoi fortbewegen können, da das

Fortlaufen der Locomotive bekanntlich durch die Reibung zwischen den Räderumfängen und den Schienen bewirkt wird: werden die Schienen durch Abnutzung so geglättet, dass sie den Rädern nicht mehr den erforderlichen Grad von Reibung darbieten, so bleibt die Locomotive, wenn auch deren Räder rotiren, doch an derselben Stelle. Durch die Reibung geschieht es, dass man die grössten Schiffe, ohne Anker, nur durch lockeres Umwickeln des Schiffseiles um einen am Ufer befestigten Pflock festhalten, dass man die schwersten Fässer in den Keller ohne bedeutende Kraftanstrengung hinablassen kann.

Bewegt sich ein Körper in irgend einer Flüssigkeit (Luft, Wasser), so muss er auf Kosten eines Theiles seiner eigenen Bewegung dieses Mittel in Bewegung setzen. Der Widerstand, welcher hieraus erwächst, der Widerstand des Mittels, ist ausser der Dichte und Beschaffenheit des flüssigen Mittels noch wesentlich von der Gestalt, Grösse und Geschwindigkeit des bewegten Körpers abhängig. Es ist indessen weder durch Versuche noch durch Rechnung gelungen, die Gesetze dieser Abhängigkeit in mit der Erfahrung ganz übereinstimmender Weise festzustellen. Man kann jedoch annehmen, dass unter übrigens gleichen Umständen der Widerstand des Mittels mit dem auf der Richtung des bewegten Körpers senkrechten, grössten Querschnitte dieses letzteren wachse, dass er dem Quadrate der Geschwindigkeit des Körpers und der ihr parallelen Geschwindigkeit des Mittels und der Dichte des widerstehenden Mittels direct proportional sei.

In dem Widerstande des Mittels liegt der Grund, warum der Querschnitt eines Schiffes in der Richtung des Kieles nach vorn zu immer abnimmt, warum Schnellsegler ganz anders (lang und schmal) gebaut sein müssen, als für grosse Ladungen bestimmte Schiffe. Den Vögeln und Fischen kommt ihr nach vorne zu immer schmaler werdender Körperbau sehr bei ihren Bewegungen in der Luft und im Wasser zu statten. Ein Mensch erhält sich im Wasser durch schnelle Bewegung der Hände und Füsse nach unten schwebend (schwimmt künstlich). Vermittelst eines Fallschirmes kann man sich in der Luft von beträchtlicher Höhe ohne Gefahr herablassen.

Elasticität fester Körper.

Werden feste Körper durch äussere Kräfte, ohne Verletzung des Zusammenhanges ihrer Theile, zusammengedrückt oder ausgedehnt, so nehmen sie oft, nach Aufhebung der äusseren Kräfte, ihre frühere Gestalt und Dichtigkeit wieder an. Diese Eigenschaft heisst Elasticität (Federkraft, Spannkraft, Schwungkraft, Schnellkraft). Die Elasticität kann als eine allen Körpern gemeinsame Kraft angesehen werden, welche jedoch in sehr verschiedenen Graden stattfindet. Kehren die Theilchen, sobald die Kraft, durch welche

sie verrückt wurden, zu wirken aufgehört hat, wieder vollkommen in ihre vorige Lage zurück, so nennt man den Körper vollkommen elastisch; bei nur theilweisem Zurückkehren unvollkommen elastisch. Wenn man im gewöhnlichen Leben von elastischen Körpern spricht, so versteht man gewöhnlich darunter jene Körper, welche nach sehr beträchtlichen Formänderungen ihre frühere Gestalt herstellen; solche Körper sind: Kautschuk (besonders vulkanisirtes), Fischbein, Stahlfedern, gutgekühltes Glas. Alle anderen Körper betrachtet man als unelastische (z. B. Blei, Thon). Die grösste Kraft, für welche ein Körper noch elastisch ist, heisst seine Elasticitätsgrösse, und die Verrückung, welche die Theile durch diese Kraft erfahren und welche zugleich die äusserste Verrückung ist, welche die Theile ertragen, ohne dass der Körper aufhört, elastisch zu sein, heisst die Elasticitätsgrenze. Die Zahl, welche man erhält, wenn man jene Grösse durch diese dividirt, giebt das Mass der Spannkraft, den Elasticitätsmodulus an.

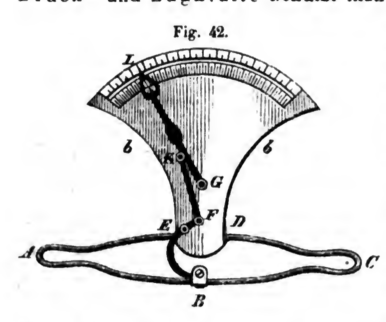
Durch Versuche von s'Gravesande, Coulomb, Hooke u. A. ist es ausser Zweifel gestellt, dass die Verrückungen, welche die Theile eines gleichförmig elastischen Körpers innerhalb seiner Elasticitätsgrenze durch äussere Kräfte erfahren, der Grösse dieser Kräfte direct proportional sind. Eine Stahlstange z. B., die durch Belastung von 100 Pfund eine Verlängerung um $\frac{1}{100}$ erfährt, wird durch 200 und 300 Pfund um $\frac{2}{100}$ und $\frac{3}{100}$ Pfund verlängert.

Gleichartige Körper besitzen an allen Stellen dieselbe Elasticität; in ungleichartigen und in krystallisirten Körpern hingegen ist die Elasticität an einigen Stellen grösser oder kleiner als an andern. Hölzer zeigen in der Richtung der Fasern eine grössere Elasticität, als in einer darauf senkrechten Richtung. Hämmern und schnelles Abkühlen ändern die Elasticitätsgrösse, wie man an Stahl und Messing wahrnehmen kann; letzteres wird z. B. durch entsprechendes Hämmern so elastisch, dass es zu Federn verwendet werden kann. Grosse Veränderungen im Elasticitätsgrade verursacht bei Metallen die chemische Verbindung derselben unter einander und mit anderen Körpern; z. B. das wenig elastische Eisen giebt, mit einer gewissen Menge Kohlenstoff chemisch verbunden, den elastischen Stahl; Zinn und Kupfer geben bei ihrer chemischen Verbindung das elastische Glockenmetall.

Die Elasticität findet häufige Anwendung in den Gewerben;

sie wird unter andern benutzt als bewegende Kraft, zur Entkräftung und Unschädlichmachung heftiger Stösse, zum Wägen der Körper und zum Messen der Druck- und Zugkräfte. Eine Anwendung der Elasticität als bewegende Kraft sehen wir bei den elastischen Federn in den Taschenuhren, in welchen eine spiralförmig zusammengewundene Stahlfeder durch die Kraft, mit der sie sich aufzuwinden strebt, mittelbar die damit verbundene Kette oder das durch Verzahnung verbundene Uhrwerk in Bewegung setzt. Andere Anwendung der Elasticität als bewegende Kraft sehen wir an Thürschlössern, Flintenschlössern, Polstern. Zur Entkräftung und Unschädlichmachung heftiger Stösse benutzt man ebenfalls die Elasticität, wie dies die Wagenkasten tragenden Federn, die Puffer an den Eisenbahnwagen zeigen. Die sogenannte Federwage diene als Beispiel der Anwendung der Elasticität zum Wägen der Körper. Zum Messen der Druck- und Zugkräfte benutzt man die Dynamometer oder Kraftmesser, welche sich auf Zusammendrükkung elastischer Stahlfedern gründen. Ein zweckmässiges Dynamometer ist das von Regnier, bestehend aus einem beweglichen Ringe *ABCD* von federhartem Stahle, der beim Gebrauche nach der Richtung des kürzeren Durchmessers *DB* zusammengedrückt wird. Auf der einen Seite des Ringes, bei *D*, ist ein Stahlstück *ab* befestigt, welches der zur Messung bestimmten Vorrichtung als Unterlage dient; diese Vorrichtung besteht aus dem Winkelhebel *FEB*. *F* ist zugleich der Mittelpunkt des mit dem Arme *FE* unveränderlich verbundenen Zeigers *FK*. Neben *F* befindet sich ein zweiter Zeiger *GL*, welcher auf einen eingetheilten Kreisbogen zeigt. Wird das Dynamometer zusammengedrückt, so dreht sich der Arm *EF* des Winkelhebels, und mit ihm der Zeiger *FK*, von der Linken zur Rechten und schiebt dabei den Zeiger *GL* vor sich her. Die der jedesmaligen Richtung von *GL* entsprechende Kraft muss durch vorläufige Versuche mittelst spannenden Gewichter ermittelt werden.

Fig. 42.



Fünfter Abschnitt.

Von der Schwere.

Alle Körper besitzen das Bestreben, nach der Oberfläche der Erde zu fallen, welches Bestreben sich durch deren wirklichen Fall oder durch einen Druck auf ihre Unterlage äussert. Die Ursache dieser Erscheinung schreiben wir, wie schon angegeben, einer Kraft zu, welche wir Schwere nennen; die Schwere eines Körpers beruht also darauf, dass ein jedes Theilchen desselben durch eine eigenthümliche Kraft abwärts getrieben wird. Die Richtung der Schwerkraft heisst vertical, eine dagegen senkrechte gerade Linie oder Ebene horizontal. Die Verlängerungen der Richtungen der Schwere an verschiedenen Orten der Erde convergiren wegen der fast kugelförmigen Gestalt derselben nach deren Mittelpunkte. Da alle parallele Schwerkräfte der Theilchen eines Körpers einerlei Richtung haben, so entspricht diesen Kräften eine Resultirende. Diese Resultirende heisst sein Gewicht, sie ist der Summe der parallelen Kräfte gleich und geht stets durch denselben Punkt des Körpers. Dieser Punkt, welcher also der Mittelpunkt aller parallelen Kräfte ist, dieser Angriffspunkt der Resultirenden heisst der Schwerpunkt des Körpers. Ist dieser Punkt unterstützt, so bleibt der Körper in allen möglichen Stellungen um diesen Punkt im Gleichgewichte, denn in allen diesen Stellungen wird die Resultirende der Schwerkräfte durch den festen Punkt gehen. Man kann demnach das Gewicht eines Körpers als eine Kraft betrachten, welche in verticaler Richtung an dem Schwerpunkte desselben angelangt ist.

Um den Schwerpunkt eines Körpers zu bestimmen, wendet man folgende Methode an. Wenn man einen Körper mittelst eines Fadens aufhängt, so muss die Richtung des Fadens vertical sein und verlängert durch den Schwerpunkt des Körpers gehen. Befestigt man darauf den Faden an einer andern Stelle des Körpers, so muss seine Verlängerung ebenfalls durch den Schwerpunkt gehen. Der Schwerpunkt kann demnach nur in dem Punkte liegen, der beiden Verlängerungslinien gemeinschaftlich ist; er befindet sich also da, wo sich beide Linien schneiden. — Eine andere Methode, den Schwerpunkt zu ermitteln, besteht darin, den betreffenden Körper auf einer scharfen Kante so lange hin und her zu rücken, bis er auf derselben ruht. Stellt man sich vor, es sei

eine Verticalebene durch die Kante und den Körper geführt, so muss der Schwerpunkt in derselben liegen. Bringt man sodann den Körper in zwei anderen Lagen auf der Kante in Ruhe und führt jedesmal durch die Kante und den Körper Verticalebenen, so befindet sich nothwendig der Schwerpunkt auch in diesen Ebenen, mithin in einem diesen drei Ebenen gemeinschaftlichen Punkte, d. h. da, wo sich die drei Linien schneiden.

Bei gleichartigen Körpern fällt der Schwerpunkt mit dem Mittelpunkte der Figur zusammen, bei Körpern von verschiedener Dichte liegt er hingegen nach der Seite der grösseren Dichte. Bei gewissen Körpern kann der Schwerpunkt auch ausserhalb der Masse liegen, wie z. B. bei einem Reife. Der Schwerpunkt einer geraden Linie von gegebener Länge liegt offenbar in ihrer Mitte. Der Schwerpunkt einer Kugel liegt im Mittelpunkte, der eines Cylinders mit parallelen Endflächen in der Mitte seiner Axe, der eines Kreises oder einer Ellipse in deren Mittelpunkten, der eines Parallelogramms im gemeinschaftlichen Mittelpunkte der beiden Diagonalen.

Fig. 43.

Um den Schwerpunkt eines Dreiecks ABC (Fig. 43) zu finden, verbinde man den Punkt C mit der Mitte der Seite AB. Die Schwerpunkte aller Linien, die sich der Linie AB parallel ziehen lassen, liegen dann auf der Linie CD, demnch auf dem Schwerpunkte des Dreiecks. Verbindet man ebenso den Punkt A mit der Mitte der Seite CB, so liegen wieder die Schwerpunkte aller mit CB paralleler Linien, also auch der Schwerpunkt des Dreiecks auf AE, der demnach der Lage nach durch den Durchschnittspunkt G der Linien CD und AE bestimmt wird. Zieht man noch die Gerade DE, so schneidet diese die Linien AB und CB proportional und ist folglich zu AC parallel, hieraus folgt wegen der ähnlichen Dreiecke ACG, DGE, ACB und DEB:

$$CG : GD = AC : DE \text{ und } AC : DE = CB : EB = 2 : 1.$$

Also auch

$$CG : GD = 2 : 1 \text{ und } CD : GD = 3 : 1.$$

Mithin

$$GD = \frac{1}{3} CD.$$

Aus der Bestimmung des Schwerpunktes eines Dreiecks und einer dreiseitigen Pyramide lässt sich leicht für jede andere von geraden Linien begrenzte Ebene und für jeden anderen von ebenen Linien begrenzten Körper die Lage des Schwerpunktes ableiten, da sich alle diese Figuren durch Diagonallinien und Diagonalflächen in Dreiecke und dreiseitige Pyramiden zerlegen lassen.

Der Schwerpunkt ist von der Intensität der Schwere abhängig. Wohin auch der Körper gebracht werde, unter verschiedenen Breiten und in verschiedenen Höhen über die Erdoberfläche, oder selbst im unendlich leeren Raume wird der Schwerpunkt immer der nämliche Punkt des Körpers sein. Da dieser Punkt nun die Wirkung der Schwere voraussetzt und seine Lage nur von den Massen und deren Stellung abhängt, so ist derselbe auch Mittelpunkt der Masse oder der Trägheit genannt worden.

Ist die Lage eines Körpers der Art, dass sein Schwerpunkt tiefer liegt, als in jeder andern Lage, so wird er, wenn ihn eine Kraft bis zu einer gewissen Grenze aus dieser Lage bringt, wieder dahin zurückkehren, wenn die Kraft zu wirken aufgehört hat. Eine solche Lage des Körpers heisst eine sichere oder stabile, so ist z. B. die Lage des Körpers *M* (Fig. 44) auf der Fläche *A B* stabil; denn wird derselbe aus dieser Lage in die Stellung *M'* gebracht, so kehrt er, da sein von *m* nach *m'* versetzter Schwerpunkt nicht unterstützt ist, in die Lage *M* zurück. Ist hingegen die Lage eines Körpers eine solche, dass, wenn er aus derselben herausgebracht wird, sein Schwerpunkt tiefer liegt als vorher, so heisst die Lage eine nicht dauernde, unsichere oder labile. Eine derartige Stellung hat der Körper *M* (Fig. 45) auf der Fläche *A B*; wird dieselbe durch Neigen des Körpers verändert, so dass er die in der Zeichnung durch Punkte angedeutete Lage erhält, so liegt der Schwerpunkt *m'* tiefer als vorher. Der Körper kann daher nicht in die vorige

Fig. 44.

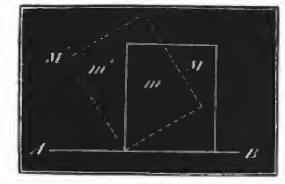


Fig. 45.

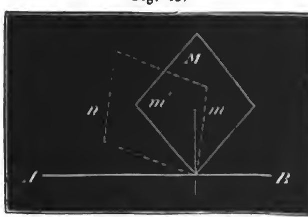
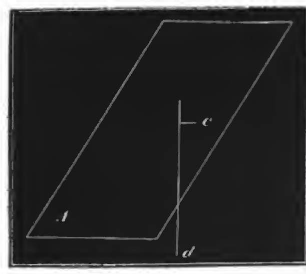


Fig. 46.



Lage zurückkehren, sondern wird eine tiefere Lage anzunehmen streben, bis er endlich mit der unteren Fläche auf *AB* aufliegt.

Ein Körper kann auf einer horizontalen Unterlage nur dann im Gleichgewichte sein, wenn die durch den Schwerpunkt gezogene Verticale innerhalb der Basis fällt. Befindet sich der Schwerpunkt des Körpers *A* in *c* (Fig. 46), so wirkt das Gewicht vertical nach *cd* und der Körper *A* muss umfallen. Etwas anders ist es bei den bekannten schiefen Thürmen von Pisa und Bologna, die nicht fallen können, weil die von ihrem Schwerpunkte nach abwärts gezogene Verticale *mx* durch die Basis *ab* (Fig. 47) geht, die Theile der überhängenden Masse ferner fest mit einander vereinigt sind.

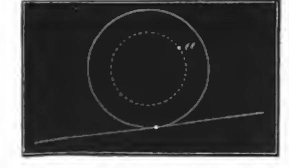
Fig. 47



Eine nicht homogene Scheibe, deren Schwerpunkt in *a* liegt, wird, auf eine schiefe Ebene gesetzt (Fig. 48), so lange nach aufwärts rollen, bis ihr Schwerpunkt die möglich tiefste Lage erlangt hat.

Die Stabilität eines Körpers ist um so grösser, 1) je grösser sein Gewicht ist, 2) je breiter seine Basis und 3) je tiefer sein Schwerpunkt liegt. Daraus erklärt sich, warum ein Wagen, der mit Substanzen von geringem Gewichte, wie mit Heu, Wolle u. s. w. beladen, dem Umwerfen mehr ausgesetzt ist, als wenn derselbe bis zu gleicher Höhe mit Steinen oder anderen schweren Stoffen beladen (1); warum Wagen mit grösserer Spurweite und Menschen mit ausgespreizten Füssen weniger leicht umgeworfen werden können (2); warum endlich Fussgestelle von Lampen, Haltern u. s. w. die dem Fallen

Fig. 48.



leicht ausgesetzt sind, mit Blei ausgegossen oder mit Sand ausgefüllt werden (3).

Aus dem Vorstehenden erklärt sich die Stellung eines Menschen beim Lasttragen, beim Gehen, Stehen u. s. w. Die Kunst des Seiltänzers besteht in der Fertigkeit, durch Bewegungen seines Körpers, durch Ausstrecken seiner Hände und Verschieben der Balancierstange, nach der einen oder nach der andern Seite hin, den Schwerpunkt des Körpers zu verrücken, dass die Verticale vom Schwerpunkte nach abwärts stets durch das Seil geht.

Da das ***Gewicht eines Körpers seiner Masse proportional ist,*** so dienen die Gewichte zur Vergleichung der Massen. Die Gewichte gleichartiger Massen verhalten sich wie ihre Rauminhalte. Dasselbe gilt auch von den Massen. Die Erfahrung lehrt aber, dass ungleichartige Körper bei gleichem Rauminhalte verschiedene Mengen von Massentheilchen enthalten. Wenn man in dieser Beziehung zwei Körper mit einander vergleicht, so heisst derjenige, welcher die grösste Menge von Massentheilchen enthält, der dichtere. Wenn man die in der Einheit des Volumens eines Körpers enthaltene Masse mit M, seine Dichte mit D und den Rauminhalt mit V bezeichnet, so ist $M = DV$. Da die Schwere eines Körpers sich überall äussert, so bietet sie sich uns gleichsam von selbst als das natürlichste Maas der Kräfte dar. Jeder Druck, also auch jede continuirliche Kraft, lässt sich mit dem Drucke eines schweren Körpers vergleichen und danach in Gewichtseinheiten ausdrücken. Auch jede Arbeit lässt sich dadurch anschaulich machen, indem man das Gewicht angiebt, welches durch die arbeitende Kraft während einer gewissen Zeit auf eine gewisse Höhe gehoben wurde. Die Arbeit einer Maschine lässt sich auf diese Weise ersichtlich machen, indem man ausserdem noch zur Bequemlichkeit des Ausdruckes besondere Einheiten bildet. Eine solche Einheit ist z. B. eine Pferdekraft.

Früher wendete man in den englischen Brauereien und ähnlichen Anlagen nur Pferde als bewegende Kraft an; nachdem die Dampfmaschinen erfunden waren, traten diese an die Stelle der Pferde und es kam nur darauf an, eine Maschine zu construiren, welche die Arbeit derjenigen Zahl von Pferden, wie sie bis dahin verwendet waren, leistete. Man hatte gefunden, dass ein Pferd mit einer Geschwindigkeit von $2\frac{1}{2}$ engl. Meilen in der Stunde 150 Pfund bewege. Dies giebt eine Last von 550 engl. Pfunden in der Secunde. Letzteres Mass heisst eine Pferdekraft. Hat man daher die Leistung einer Maschine so berechnet, dass man weiss, wie viel Pfund sie in einer Secunde einen Fuss hoch hebt, so braucht man nur diese Angabe mit 550 zu dividiren, um sie in Pferdekräften ausgedrückt zu erhalten.

Das Gewicht eines Körpers, so wie man es durch Wägung findet, heisst sein absolutes Gewicht. Hat man einmal das

Gewicht der als Einheit angenommenen Masse (eines Kubikfusses oder Kubikcentimeters Wasser) bestimmt und nennt es p, so kann man das absolute Gewicht P eines Körpers, dessen Masse M ist, durch die Gleichungen

$$P = Mp \text{ oder } P = VDp$$

ausdrücken. Da nun die Dichte eines Körpers mit seiner Beschaffenheit in innigem Zusammenhange steht, so nennt man das absolute Gewicht eines Körpers bei dem Volumen I sein **specifisches Gewicht**, welches dem Producte Dp gleich sein muss. Bezeichnet man das specifische Gewicht mit S, so ist

$$Dp = S \text{ und also } P = VS.$$

Die Gewichte gleicher Volumen verschiedenartiger Körper nennt man also ihre specifischen Gewichte. Dichte und specifisches Gewicht eines Körpers sind im Wesentlichen dasselbe.

Das specifische Gewicht eines Körpers wird gefunden, wenn wir sein absolutes Gewicht durch das Gewicht eines gleichen Volumens irgend eines anderen, als Einheit gedachten Körpers dividiren. Als Einheit hat man das reine Wasser im Zustande seiner grössten Dichte (ungefähr bei + 4° C.) gewählt. Bei wissenschaftlichen Untersuchungen nimmt man als Gewichtseinheit das Gramm an, welches gleich dem Gewichte eines Kubikcentimeters reinen Wassers ist. Die Zahl, welche uns angiebt, um wie viel mal ein Körper schwerer oder leichter, als ein gleiches Volumen Wasser ist, heisst sein specifisches Gewicht. Sagt man, das Quecksilber habe ein specifisches Gewicht von 13,5, so heisst dies mit anderen Worten, Quecksilber wiegt dreizehn und ein halb mal so viel, als das Wasser. Ein Glas, das genau ein Pfund Wasser fasst, wird erst durch 13½ Pfund Quecksilber angefüllt. Um das specifische Gewicht von Flüssigkeiten zu ermitteln, nimmt man ein Fläschchen, dessen Gewicht man kennt, wägt dasselbe mit Wasser angefüllt, und darauf angefüllt mit der Flüssigkeit, deren specifisches Gewicht man bestimmen will. Nehmen wir an, wir hätten das specifische Gewicht der Schwefelsäure zu bestimmen, und es hätte gewogen

das leere Fläschchen 56,916 Gramme,
das Fläschchen mit Wasser 84,066 Gramme,

so ist das Gewicht des Wassers (84,066 minus 56,916) = 27,150 als Einheit. Das mit Schwefelsäure angefüllte Fläschchen hätte gewogen 107,142 Gramme, so wäre das absolute Gewicht der Schwe-

felsäure (107,142 minus 56,916) = 50,226, und das specifische Gewicht demnach 1,85, denn $\frac{50,226}{27,150} = 1,85$.

Will man das specifische Gewicht eines starren Körpers ermitteln, so bildet man aus demselben einen regelmässigen Körper, z. B. einen Würfel, dessen absolutes Gewicht durch die Wage bestimmt wird Ein Würfel von Marmor wiege z. B. 21,6 Gramme; ist nun eine Seite dieses Würfels 2 Centimeter lang, so ist sein Volumen 8 Kubikcentimeter. Ein eben so grosser Würfel von Wasser muss 8 Grammen wiegen, da ein Kubikcentimeter Wasser = 1 Gramme ist. Das specifische Gewicht des Marmors ist demnach $\frac{21,6}{8} = 2,7$ Gramme. Das specifische Gewicht vieler Holzarten ermittelte Karmarsch auf die Weise, dass er von denselben Parallelepipeda darstellte, diese genau mass und dann wog. Für die Baukunst sind, wie man leicht einsieht, die auf diese Weise ermittelten Gewichte eines bekannten Volumens der verschiedenen Holzarten von grossem Nutzen.

Bei Bestimmung des specifischen Gewichtes starrer Körper in kleinen Stücken oder als Pulver wendet man sehr zweckmässig das oben erwähnte Fläschchen an, von welchem man genau weiss, wie viel Wasser dasselbe bei einer bestimmten Temperatur fassen kann. Darauf wägt man den Körper in der Luft, bringt ihn in das Fläschchen, füllt dasselbe mit Wasser und bestimmt das Gewicht seines Inhalts. Da durch den Körper Wasser aus den Fläschchen verdrängt worden ist, so muss das Gewicht des letzteren geringer sein als das Gewicht des Wassers, welches das leere Fläschchen fassen kann, plus des Gewichtes des an der Luft gewogenen Körpers. Zieht man jenes Gewicht von diesem ab, so erfährt man das Gewicht des verdrängten Wassers, dessen Volumen dem Volumen des Körpers gleich ist. Man habe z. B. auf diese Weise das specifische Gewicht von Platinkörnchen zu ermitteln:

Das Fläschchen mit Wasser wiege	13,52	Gr.
die Körnchen	4,056	„
beides zusammen	17,576	„
die Körnchen mit dem Wasser im Glase zusammen	17,316	„

so ist das Gewicht des durch die Körnchen verdrängten Wassers = 0,26, demnach ist das specifische Gewicht der Platinkörnchen $\frac{4,056}{0,26} = 15,6$.

Hat man das specifische Gewicht von Körpern zu bestimmen, die sich im Wasser lösen, wie z. B. von Salzen, so nimmt man anstatt des Wassers eine Flüssigkeit, in welcher sich der Körper nicht löst, z. B. Terpentinöl, und multiplicirt sodann das Resultat mit dem specifischen Gewichte der Flüssigkeit.

Später werden wir noch andere Methoden zur Bestimmung des specifischen Gewichtes kennen lernen.

Theorie der Wage. Zur Bestimmung des absoluten Gewichtes der Körper kann jede Vorrichtung dienen, an welcher Verschiedenheiten in der Belastung deutlich beobachtet werden können. Eine solche Vorrichtung ist die bekannte Wage, die sich auf die mannichfaltigsten Principe gründen kann; so hat man unter anderen die Elasticität zur Wägung (Federwage s. Seite 50) benutzt; in den meisten Fällen aber verdient die Anwendung des Hebels entschieden den Vorzug. Zum Wägen kleinerer Gegenstände ist ein einfacher Hebel ausreichend; bei grösseren nimmt man zu einer Combination mehrerer Hebel seine Zuflucht. Die wichtigsten Wagen sind: die gewöhnliche zweiarmige Wage oder Schalenwage, die Schnellwage und die Zeigerwage. Bei der Schalen- oder Krämerwage muss der Wagebalken unbelastet eine horizontale Lage annehmen und diese auch beibehalten, wenn auf die Wagschalen gleiche Gewichte gelegt werden. Damit der Wagebalken AB (Fig. 49) die erforderliche Beweglichkeit habe, muss derselbe mittelst einer Schneide D auf einer ebenen, sehr harten Unterlage von Achat oder Stahl ruhen. Eben so ist es nothwendig, dass die beiden Wageschalen auf ähnlichen Schneiden A und B aufgehangen seien, damit die Länge der Hebelarme dadurch nicht verändert werde. Die Kanten der drei Schneiden müssen in einer geraden Linie liegen. Diese gerade Linie ist die Längenaxe des Balkens. Eine senkrechte Linie von HF nach E, durch welche die Längenaxe in zwei gleiche Theile getheilt wird, geht durch den Drehpunkt und Schwerpunkt des Wagebalkens; diese Linie bildet die Zunge der Wage. Die Wage muss so eingerichtet sein, dass sie schon für ein sehr kleines Ueberge-

Fig. 49.

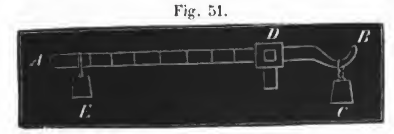
wicht auf der einen Seite einen sehr bedeutenden Ausschlag nach derselben hin giebt. Der Ausschlagswinkel oder die Empfindlichkeit einer Wage ist um so grösser, je grösser unter sonst gleichen Umständen die Länge des Wagebalkens ist, je näher der Schwerpunkt unter dem Drehpunkte liegt, je leichter die Wage und der Wagebalken ist.

An einzelnen Wagen ist auf den Vorschlag von Berzelius eine Einrichtung getroffen worden, welche das Auflegen von ganz kleinen Gewichtchen (z. B. von Milligrammen) entbehrlich macht. Sie besteht darin, dass die Entfernung von der mittleren Schneide D bis zu der Schneide, an welcher die eine Wagschale (z. B. bei B) hängt (Fig. 49), in zehn Theile getheilt sei. Bei den zur Wage gehörigen Gewichten befindet sich auch ein Häkchen von Gold- oder Platindraht von der in Figur 50 angegebenen Form. Wird nun ein solches Häkchen, das genau einen Centigramme wiegt, an den ersten, zweiten, dritten u. s. w. Theilstrich, von der Drehschneide an gerechnet, aufgehängt, so thut dieses Häkchen dieselbe Wirkung, wie wenn man $\frac{1}{10}$, $\frac{2}{10}$, $\frac{3}{10}$ u. s. w. eines Centigrammes, d. i. 1, 2, 3 u. s. w. Milligramme auf die an dem nämlichen Wagebalkenarm befindliche Schale gelegt hätte, da, wie schon früher angegeben, bei einem gleicharmigen Hebel parallel wirkende Kräfte sich umgekehrt wie die Hebelarme verhalten.

Fig. 50.

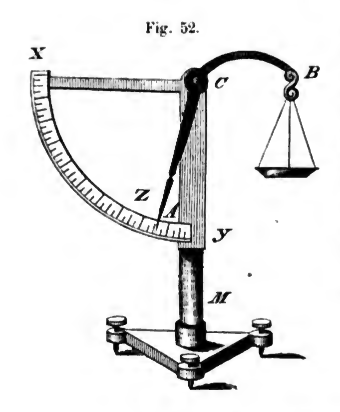
Die Schnellwage, auf welcher Körper von bedeutendem Gewichte durch blosses Verschieben eines und desselben Gewichtes gewogen werden können, ist ein ungleicharmiger Hebel AB (Fig. 51) aus festem Metall, an dessen kürzerem Arme B sich ein Haken zum Aufhängen der zu wägenden Last befindet, während sich auf dem längeren Arme jenseits der in der Schere ruhenden Drehschneide D ein constantes Gewicht E (das Laufgewicht oder der Laufer) vorstellen lässt. Der längere Arm AD ist eingetheilt und der Theilstrich, bei welchem sich der Laufer befinden muss, um der Last das Gleichgewicht zu halten, giebt das Gewicht der Last an.

Fig. 51.



Die Zeigerwage wird aus der Zeichnung (Fig. 52) klar. Die kreisförmige Scala, auf welcher der Zeiger Z des um die Schneide drehbaren, einen Winkelhebel darstellenden Wagebalkens AB spielt,

Fig. 52.



wird am einfachsten auf empirischem Wege zu Stande gebracht, indem man nämlich bei verticaler Stellung der Säule M auf die Wagschale nach und nach grössere Gewichte auflegt und den jedesmaligen Stand des Zeigers auf dem Kreisbogen XY markirt. Man wendet diese Wage besonders in den Fällen an, wo es darauf ankommt, viele Körper möglichst schnell nach einander zu abzuwägen, wie z. B. Briefe auf der Post.

Vom Falle der Körper.

Die Schwere ist die wichtigste aller Naturkräfte. Wie schon früher (Seite 51) bemerkt, versteht man darunter die Anziehung, welche die Erde auf alle Körper ausübt. Die einfachste Wirkung der Schwere ist der freie Fall der Körper. Man bezeichnet diese Kraft mit dem Namen einer constanten, weil sie in gleichen Zeiten gleiche Geschwindigkeiten hervorbringt. Der Beweis für die Richtigkeit der Voraussetzung, dass dem freien Falle der Körper eine constant wirkende Kraft zu Grunde liegt, wird durch die Uebereinstimmung der Resultate der Berechnung mit der Erfahrung geführt.

Hierbei ist zu bemerken, dass die Schwerkraft von oben nach unten hin bis zur Erdoberfläche an Intensität zunimmt, dass jedoch diese Aenderung bei Distanzen, welche gegen den Erdhalbmesser verschwinden, unmerklich sind. Man hat daher Recht, zu sagen, dass die Schwere constant wirke.

Versuche über den freien Fall der Körper haben gelehrt, dass die Bewegung eines frei herabfallenden Körpers eine gleichförmig beschleunigte ist, d. h. seine Geschwindigkeit wird in jedem Augenblicke um dieselbe Grösse zunehmen, d. i. stets proportional mit der Zeit wirken. ***Die Wege, welche an einem und demselben Orte im freien Falle nach***

Verlauf gewisser Zeiten durchlaufen werden, also die Fallräume, verhalten sich wie die Quadrate dieser Zeiten. Die Geschwindigkeit eines Körpers nach einer Secunde (die Acceleration der Schwere) sei = g, nach zwei Secunden ist sie = 2g, nach drei Secunden = 3g u. s. w. Bezeichnet man die Geschwindigkeit nach t-Secunden durch c, so ist c = gt. Die Geschwindigkeit nach t-Secunden erhält man demnach, wenn man die Geschwindigkeit nach einer Secunde mit der gegebenen Anzahl Secunden multiplicirt. Durch Versuche hat man gefunden, dass die Geschwindigkeit, die ein freifallender Körper nach Ablauf der ersten Secunde erlangt, unter mittleren geographischen Breiten = 31 Fuss ist. Der Weg, den ein fallender Körper in der ersten Secunde zurücklegt, = 15,5 Fuss. Nach der 2, 3, 4, 5 u. s. w. Secunde legt demnach der fallende Körper Wege zurück, welche im Verhältniss der Quadrate dieser Zeiten, d. h. 4 mal, 9 mal, 16 mal, 25 mal u. s. w. grösser sind, als 15,5 Fuss. Hat nun ein Körper in der ersten Secunde 15,5 Fuss zurückgelegt, so ist er nach der 2ten Secunde 4 × 15,5 Fuss
„ „ 3 „ „ 9 × 15,5 „
„ „ 4 „ „ 16 × 15,5 „
„ „ 5 „ „ 25 × 15,5 „
gefallen; er muss demnach zurückgelegt haben in

der 2ten Secunde	4 × 15,5 — 15,5	= 3 × 15,5
„ 3 „ „	9 × 15,5 — 4 × 15,5	= 5 × 15,5
„ 4 „ „	16 × 15,5 — 9 × 15,5	= 7 × 15,5
„ 5 „ „	25 × 15,5 — 16 × 15,5	= 9 × 15,5

Daraus folgt, dass die Räume, welche in den aufeinander folgenden gleichen Zeiten durchlaufen werden, wie die ungeraden Zahlen wachsen.

Die eben angeführten Gesetze lassen sich direct durch den Versuch nicht darthun, weil es sehr schwierig ist, so ausserordentlich kleine Zeitintervalle mit der erforderlichen Schärfe zu messen, und der Widerstand der Luft den Fallraum verringert. Es existirt aber eine Vorrichtung, vermittelst welcher man die Fallhöhe in einer Secunde beliebig vermindern, und aus den Resultaten der Versuche auf die Gesetze schliessen kann. Die Maschine ist unter dem Namen der Atwood'schen Fallmaschine bekannt. Dieselbe (siehe Fig. 53) besteht wesentlich aus einer verticalen, in Zolle getheilten Säule, an deren oberem Ende ein um seine horizontale Axe äusserst leicht bewegliches Rad angebracht ist, an

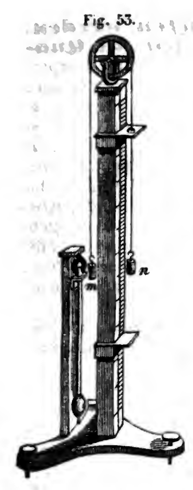


Fig. 53.

dessen Umfang sich eine feine Schnur befindet, an deren Ende die Gewichte *m* und *n* angebracht sind. Wird zu dem einen Gewicht (*m*) mehr gebracht als nothwendig ist, um die Reibung der Rolle zu überwinden, so fällt dasselbe längs der in der Figur angedeuteten Scala herunter. Die an der Seite angebrachten Schieber dienen zur Bestimmung des durchlaufenen Weges, während durch das nebenstehende Pendel die zu dieser Bewegung verwendete Zeit gemessen wird. Die Geschwindigkeit ist hierbei natürlicher Weise geringer als beim freien Falle, weil die auf das Uebergewicht wirkende Schwere nicht nur die Masse des Gewichts, sondern auch die der übrigen Gewichte nebst der Rolle selbst in Bewegung zu setzen hat. Man kann dieses Uebergewicht so wählen, dass der fallende Körper in der ersten Secunde einen bestimmten Weg, z. B. einen Zoll, zurücklegt, nach der zweiten wird der Körper einen Zoll, nach der dritten neun Zoll zurückgelegt haben u. s. w. Es wird also dadurch das Gesetz für die gleichförmig beschleunigte Bewegung, dass die nach gewissen Zeiten zurückgelegten Räume sich wie die Quadrate dieser Zeiten verhalten, auf das vollkommenste bestätigt.

Wird ein Körper durch irgend einen Stoss v e r t i c a l in die Höhe geworfen, so steigt er mit abnehmender Geschwindigkeit; nach einiger Zeit hört seine nach aufwärts gerichtete Bewegung auf, und er fängt an zu fallen. Es sei ein Körper mit einer Geschwindigkeit von 150 Fuss in die Höhe geworfen worden; wirkte die Schwere nicht, so würde er auch in jeder der darauf folgenden Minuten 150 Fuss steigen. Da aber die Schwere einem fallenden Körper in 1, 2, 3 u. s. w. Secunden eine Geschwindigkeit von 30, 60, 90 u. s. w. Fuss ertheilt, welche der verticalen Richtung entgegengesetzt ist, so folgt daraus, dass die Geschwindigkeit des steigenden Körpers nach

der 1sten	Secunde	$150 - 30 = 120$	Fuss
„ 2ten	„	$150 - 60 = 90$	„
„ 3 „	„	$150 - 90 = 60$	„
„ 4 „	„	$150 - 120 = 30$	„
„ 5 „	„	$150 - 150 = 0$	„

Nach der fünften Secunde beginnt der Körper zu fallen. Wir haben hier das Beispiel einer gleichmässig verzögerten Bewegung, denn die Geschwindigkeit des steigenden Körpers nimmt in jeder Secunde um 30 Fuss ab. — Wenn die Schwere den steigenden Körper nicht herabgezogen hätte, so würde derselbe nach fünf Secunden $150 \times 5 = 750$ Fuss hoch gestiegen sein; durch die Wirkung der Schwere ist aber derselbe auf $15 \times 5^2 = 375$ Fuss herabgezogen worden, und dies ist in der That seine Höhe nach Ablauf von fünf Secunden; nach dieser Zeit beginnt er wieder zu fallen. ***Allgemein kann man sagen, dass ein steigender Körper dann seinen höchsten Punkt erreicht hat, wenn die erreichte Höhe gerade so gross ist, wie der Raum, den in gleicher Zeit ein fallender Körper durchläuft.*** Daraus folgt, dass der Körper zum Herabfallen genau eben so viel Zeit braucht, als er zum Steigen nöthig hat. ***Er kommt mit derselben Geschwindigkeit wieder an, mit der er zu steigen anfing.***

Wird ein Körper horizontal oder schief geworfen, so würde derselbe, wenn er nicht der Einwirkung der Schwere unterworfen wäre und sich in einem luftleeren Raume bewegte, eine gerade Linie beschreiben, auf welcher der Körper mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortginge. Die beiden angegebenen Ursachen aber bewirken, dass die Kugel sich der Erde nähert und dass die Geschwindigkeit in jedem Augenblicke eine andere wird, dass er folglich eine krumme Linie beschreiben muss. Die durch Zusammenwirkung eines momentanen Stosses und der Schwerkraft resultirende Bewegung lässt sich nicht durch blosse Addition und Subtraction, sondern nur durch die Construction des Parallelogramms finden. Zu diesem Zwecke bestimmt man den Raum, den ein Körper in Folge des erhaltenen Stosses, in der ihm mitgetheilten Richtung, durchläuft und verbindet denselben mit dem in der verticalen Richtung vor sich gehenden Falle. Ist (Fig. 54) AB der Raum, den ein Körper, der in der Richtung AE zurückgeworfen wird, in der ersten Secunde zurücklegt, so würde er sich nach Ablauf

Fig. 54.

derselben in B befinden, wenn die Schwere nicht eingewirkt hätte. Da aber die Schwere beständig auf ihn einwirkt, so muss er von Anfang an um etwas sinken, und zwar in der ersten Secunde um $AG = 15$ Fuss; trägt man diesen Raum auf die Verticale AF über, so erhält man durch das Parallelogramm den Ort H, d. h. denjenigen Ort, an welchem sich der geworfene Körper nach Ablauf der ersten Secunde befinden muss. Nach Ablauf der zweiten Secunde befindet sich der Körper in I, nach der dritten in P, nach der vierten in Q u. s. w. Die Bahn eines geworfenen Körpers ist also keine geradlinige, sondern eine krummlinige. Im luftleeren Raume bildet die Bahn eine Parabel, deren Scheitel in dem höchsten Punkte der Bahn liegt. Im lufthaltigen Raume aber werden die Elemente der Bewegung bedeutend afficirt; Wurfsweite und Wurfshöhe sind weit kleiner, als sie der Theorie nach sein sollten. Die beiden Aeste der Parabel sind nicht mehr gleich und der absteigende Arm ist mehr gekrümmt, als der aufsteigende.

Die Lehre von der Bahn geworfener Körper wird mit dem Namen Ballistik bezeichnet, und da die Gesetze vorzugsweise für die Bewegung der aus Geschützen abgeschossenen Kugeln von grosser Wichtigkeit sind, so wird unter diesem Ausdrucke häufig die Kunst verstanden, Kugeln oder Bomben mit Sicherheit nach einem gegebenen Ziele zu schiessen. Um sich zu überzeugen, dass von der Bahn geworfene Körper wirklich Parabeln beschreiben, wendet man gewöhnlich einen Apparat an, der aus einem vertical stehenden Brette besteht, an welchem ein gekrümmter Kanal befindlich ist, aus dem eine kleine Kugel hervorrollt, welche beim weiteren Falle eine Parabel beschreibt; um diese Parabel erkennen zu können, ist auf dem Brette eine Reihe von Ringen befestigt, welche in einer Parabel liegen, durch welche die Kugel fällt. Noch deutlicher sieht man die parabolische Bahn an dem Wasser, welches aus einer Pumpe hervortritt.

In den meisten Fällen wendet man das Schiesspulver zur Erzeugung der Wurfkraft an. Indem sich das Pulver in einem engen Rohre eingeschlossen befindet und vor sich den kugelförmigen Körper, das Projectil, hinter sich eine starke Wand hat, kann dasselbe, nachdem es durch Entzünden in eine gasförmige, erhitzte Masse verwandelt worden ist, nicht anders entweichen, als dadurch, dass die Gase die Kugel vor sich her treiben. Schliesst die Kugel nicht fest an die Wände des Geschützes an, wie dies z. B. bei Kanonen der Fall ist, so streichen die Gase zum Theil über und neben derselben hin, so erhält die Kugel eine drehende Bewegung und wird leicht aus der Verticalebene getrieben. Diese Bewegung suchte man bei gezogenen Gewehren durch das sogenannte Pflastern der Kugeln zu vermindern. Bei keinem Schiessgewehre ist die Axe des Laufes parallel mit der Visirlinie; ist die letztere genau horizontal, so ist

die Axe etwas nach oben gerichtet, und wenn die Kugel auf einen Punkt trifft, welcher mit dem Auge in derselben Horizontalen liegt, so hat sie doch zuerst eine nach oben gerichtete Bahn beschrieben und ist später wieder gesunken. Durch Erfahrung hat es ein Schütze gelernt, den Winkel, welchen die Visirlinie mit der Axe des Laufes macht, für eine gegebene Pulvermenge und Kugel zu bestimmen. Daraus folgt aber auch, dass man nur auf gewisse Entfernungen hin sicher schiessen kann. Liegt das Ziel näher oder weiter als die Entfernung, für welche das Gewehr eingerichtet ist, so schiesst man entweder darüber oder darunter, was geübte Schützen dadurch vermeiden, dass sie bei verschiedenen Entfernungen entweder anders visiren, oder dass sie die Pulverladung ändern.

Wenn ein Körper nicht frei fallen kann, sondern gezwungen ist, auf einer **schiefen Ebene** herabzugleiten, so ist seine Bewegung ebenfalls eine gleichförmig beschleunigte. Die den Körper vertical abwärts ziehende Schwerkraft, welche gegen die geneigte Ebene schief wirkt, lässt sich in zwei Componenten zerlegt denken, von welchen die eine senkrecht gegen die schiefe Ebene, die andere parallel zu dieser Ebene wirkt und letztere von der ersteren sich über die schiefe Ebene hinabbewegen muss, wenn, wie man hier annimmt, keine andere Kraft und auch kein Hinderniss den Körper auf der schiefen Ebene in Ruhe hält. Es sei (Fig. 55) ABC der Durchnitt einer schiefen Ebene; mp drücke die Richtung und Grösse g der Schwere aus. mp lässt sich dann zerlegen in eine auf der Ebene senkrechte mq und in eine damit parallele mn. Erstere wird durch den Widerstand der schiefen Ebene aufgehoben, während letztere eine Bewegung längs derselben hervorbringt. Da das Dreieck qpm dem Dreieck ABC ähnlich ist, und in ähnlichen Dreiecken die entsprechenden Seiten proportional sind, so verhält sich $qp : mp = BA : BC$. Bezeichnet man die Schwerkraft mp mit g, die Länge der schiefen Ebene BC mit l, ihre Höhe AB mit h, und ihre Kraft mn oder qp mit r, so ist $r = g\frac{h}{l}$; d. h. die beschleunigende Kraft beim Falle auf der schiefen Ebene ist so viel mal geringer als beim freien Falle, als die Höhe kleiner ist, wie die Länge der schiefen Ebene. Ein Körper wird auf einer schiefen Ebene um so schneller herabgleiten, je steiler dieselbe ist; die Bewegung ist aber fortwährend eine gleichförmig

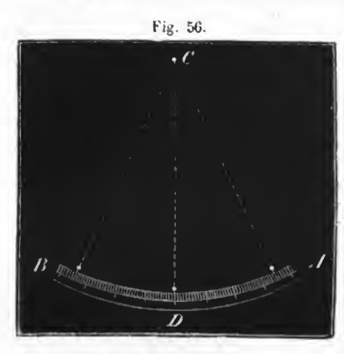
Fig. 55.

beschleunigte. Die Gesetze des Falles auf der schiefen Ebene sind die nämlichen, wie die Gesetze beim freien Falle.

Vom Pendel.

Ein schwerer, fester Körper, der vermittelst eines ausdehnbaren, aber biegsamen Fadens, der weder Gewicht noch Dichte hat, an einem festen Punkte so aufgehängt ist, dass er sich um denselben frei bewegen kann, bildet ein einfaches oder mathematisches Pendel. Ein solches existirt in der Wirklichkeit nicht; die Gesetze aber, nach denen es sich bewegen müsste, wenn es vorhanden wäre, führen zur Kenntniss des zusammengesetzten oder physischen Pendels, unter welchem man im allgemeinen eine schwere Kugel versteht, die am Ende eines biegsamen Fadens aufgehängt ist. Bringt man die Kugel aus der Gleichgewichtslage, d. h. bringt man das Pendel aus der verticalen Stellung, so macht es, wenn man es loslässt, Schwingungen, welche fortwährend in derselben Verticalebene bleiben. Bringt man z. B. das Pendel in die Lage *CB* (Fig. 56), so beschreibt die Kugel den Bogen *BD* und kommt in *D* mit solcher Schnelligkeit an, dass sie auf der andern Seite bis *A* steigt. Ist die Kugel in *A* angelangt, so geht sie wieder nach *B* zurück und wird ihre Bewegung hin und her ohne Unterbrechung fortsetzen. Beim Niedergehen des Pendels nimmt die Geschwindigkeit zu, beim Aufsteigen nimmt sie ab; in dem Augenblicke, in welchem das Pendel die Gleichgewichtslage passirt, hat es daher seine grösste Geschwindigkeit. Die Bewegung von einem der höchsten Punkte, die das Pendel in seiner Bahn auf beiden Seiten der verticalen Lage erreicht, zum andern, also die Bewegung von *B* bis *A* oder von *A* bis *B*, heisst eine Schwingung oder Oscillation; den in Graden ausgedrückten Bogen *BA* nennt man den Schwingungsbogen, die Schwingungsweite oder die Amplitude, und die Zeit, die das Pendel zur

Fig. 56.

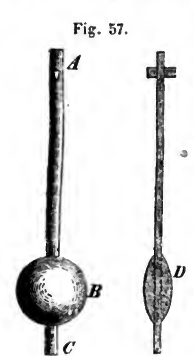


Vollendung einer Schwingung braucht, die Schwingungszeit oder Schwingungsdauer. Den Winkel *BDC* nennt man den Ausschlagswinkel.

Gesetze der Bewegung eines einfachen Pendels. 1) Die Schwingungen des Pendels in kleinen Schwingungsbögen sind isochronisch, d. h. sie erfolgen alle in gleichen Zeiten. 2) Die Schwingungszeiten bei Pendeln von verschiedener Länge und an verschiedenen Orten schwingend, verhalten sich direct wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen, und umgekehrt, wie die Quadratwurzeln aus den, den verschiedenen Orten entsprechenden Accelerationen der Schwere. 3) Für zwei an dem nämlichen Orte schwingende einfache Pendel verhalten sich die Schwingungszeiten wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen. 4) Die Dauer der Schwingungen ist vom Gewicht der Kugel und von der Natur ihrer Substanz unabhängig.

Bei einem zusammengesetzten Pendel haben die Theilchen, welche dem Drehpunkte näher liegen, ein Bestreben, schneller zu schwingen, als die entfernteren. Da nun die Theilchen mit einander verbunden sind, so müssen nothwendiger Weise die ersteren die Bewegung der letzteren beschleunigen und diese die Bewegung jener verzögern. Daraus lässt sich folgern, dass in jedem zusammengesetzten Pendel ein Punkt existirt, welcher durch die übrige Masse des Pendels weder beschleunigt, noch verzögert wird. Dieser Punkt heisst der Schwingungspunkt. Spricht man von der Länge eines zusammengesetzten Pendels, so versteht man darunter die Entfernung dieses Punktes vom Aufhängepunkte, oder, was dasselbe sagen will, die Länge eines einfachen Pendels von gleicher Schwingungsdauer. Die Länge desjenigen einfachen Pendels, das genau so schnell schwingen müsste, wie ein bestimmtes zusammengesetztes Pendel, nennt man die reducirte Länge dieses letzteren.

Fig. 57.



Wären keine Hindernisse (Reibung und Luftwiderstand) vorhanden, so müsste ein in Bewegung gesetztes Pendel bis ins Unendliche fortschwingen; diese Hindernisse verzehren aber immer mehr und mehr von der das Pendel bewegenden Kraft, so dass die Amplituden immer kleiner werden und das Pendel endlich nach einer gewissen Anzahl von Schwingungen in Ruhe kommt. Je geringer diese Hindernisse sind, desto später wird dies der Fall sein. Deshalb giebt man auch den zusammengesetzten Pendeln, die lange und mit möglichst geringer Abnahme

5*

schwingen sollen, gewöhnlich die Gestalt einer dünnen Stange AC (Fig. 57), die sich um eine harte, auf einer harten Unterlage ruhenden Schneide A dreht und eine linsenförmige schwere Masse B trägt (bei D im Querdurchschnitt), die wegen ihres grösseren Gewichtes und wegen ihrer Form die Luft leicht durchschneidet.

Von dem einfachen Pendel ist am wenigsten ein solches verschieden, welches aus einem möglichst dünnen Faden besteht, an dessen unterem Ende eine Kugel hängt. Der Schwingungspunkt eines solchen Pendels liegt nur um eine kaum messbare Höhe unter dem Schwerpunkte der angehängten Masse, und die Entfernung dieser beiden Punkte wird um so kleiner, je länger man das Pendel construirt. Bei sehr langen Pendeln kann man ohne merklichen Fehler die Kugel für den Schwingungspunkt, und also die Entfernung dieses Schwerpunktes vom Aufhängepunkte als die wahre Länge des Pendels betrachten.

Borda bediente sich zu seinen Versuchen eines Pendels von 144 Pariser Zoll. Angenommen, dieses Pendel habe in einer Stunde 1876 Schwingungen gemacht, so lässt sich daraus die Länge des Secundenpendels berechnen, das in einer Stunde 3600 Schwingungen machen muss. Die Schwingungsdauer des Borda'schen Pendels verhält sich demnach zu der des Secundenpendels wie 3600 : 1876. Da nun nach dem oben angegebenen Gesetze sich die Schwingungszeiten für zwei an dem nämlichen Orte schwingende Pendel verhalten wie die Quadratwurzeln aus den Schwingungszeiten, so findet man die Länge des Secundenpendels nach der Proportion:

$$3600^2 : 1876^2 = 144 : x$$
$$x = 39{,}14 \text{ Pariser Zoll.}$$

Die Schwingungszeit eines Pendels ist aber auch von der Grösse der Schwere abhängig, da ein Pendel um so schneller schwingt, je stärker die Schwere wirkt. Da die Erde nun keine Kugel darstellt, so ist ein Punkt ihrer Oberfläche am Pole dem Mittelpunkte der Erde näher, als ein Punkt ihrer Oberfläche unter dem Aequator. Ein am Pole befindliches Pendel wird demnach schneller schwingen, als ein eben so langes unter dem Aequator. Genauen Beobachtungen zufolge beträgt die Länge eines Secundenpendels an verschiedenen Orten, in Pariser Zollen ausgedrückt:

Orte.	Breiten.	Höhe des Pendels über dem Meeresspiegel.	Länge des Secundenpendels in Pariser Zollen.
St. Thomas	0° 24′ 41″ N.	6 Meter.	39,021
Maranham	2° 31′ 43″ S.	23 „	39,012
Ascension	7° 55′ 48″ S.	5 „	39,024
Sierra Leone	8° 29′ 28″ N.	55 „	39,019
Trinidad	10° 38′ 56″ N.	6 „	39,013
Bahia	12° 59′ 21″ S.	65 „	39,024
Jamaika	17° 56′ 7″ N.	3 „	39,035
New-York	40° 42′ 43″ N.	20 „	39,101
London	51° 31′ 8″ N.	28 „	39,139
Drontheim	63° 25′ 54″ N.	37 „	39,174
Hammerfest	70° 40′ 5″ N.	9 „	39,195
Grönland	74° 32′ 19″ N.	9 „	39,203
Spitzbergen	79° 49′ 58″ N.	6 „	39,215

Wenn sich an einer Pendelstange, in ungleichen Abständen von den Enden, zwei Axen so angebracht befinden, dass sie Secunden schlägt, gleichviel ob sie um die eine oder die andere der Axen schwingt, so giebt die Entfernung beider Axen die Länge des einfachen Secundenpendels. Ein auf diese Weise construirtes Pendel heisst ein Reversionspendel. Bei einem solchen befinden sich zwei Schneiden *a* und *b* (Fig. 58) so angebracht, dass, wenn das Pendel in *a* aufgehängt wird, es gerade so schnell schwingt, als wenn man es umgekehrt und um die Schneide *b* schwingen lässt. Dasselbe gilt auch, wenn die zweite Schneide sich genau im Schwingungspunkte *b* des um *a* schwingenden Pendels befindet. Man benutzt solche Pendel, die sich umkehren lassen, ohne dass sich die Schwingungszeit ändert, namentlich zur Bestimmung der reducirten Länge zusammengesetzter Pendel.

Fig. 58.

a

b

Anwendung des Pendels. Die wichtigste Anwendung des Pendels ist die zum Messen der Zeit. Da das Pendel seine Schwingungen stets in gleichen Zeittheilen vollbringt, so braucht man dasselbe nur mit einem Räderwerke zu verbinden, das durch jeden Schlag des Pendels um einen oder um mehrere Zähne weitergerückt wird, und zu gleicher Zeit einen Zeiger in Bewegung setzt, der die Anzahl der Schwingungen anzeigt. Dies ist der Fall bei den Pendeluhren. Will man das Pendel aber als genauen Zeitmesser benutzen, so darf dasselbe von der ausdehnenden Kraft der Wärme möglichst wenig afficirt werden. Man muss deshalb das Pendel an Orten aufheben, wo der Temperaturwechsel

kein zu grosser ist, oder wo derselbe nicht zu vermeiden, muss man zu Pendelstangen eine Substanz wählen, die sich in der Wärme nur wenig ausdehnt. Eine andere Art, den Einfluss der Wärme unschädlich zu machen, d. h. die durch die Wirkungen der Ausdehnung gestörte Gleichheit der Pendelschwingungen (Isochronismus) wieder herzustellen, ist nun die Compensation. Hierbei sucht man den Fehler nicht zu vermeiden, sondern vielmehr einen neuen, gleich grossen Fehler einzuführen, welcher jenem entgegenwirkt und dadurch denselben aufhebt. Unter den vielen sinnreichen Compensationen erwähnen wir nur das Rostpendel und die Quecksilbercompensation.

Das Rostpendel besteht aus mehreren niedergehenden Eisenstangen, welche mit einer oder mit mehreren aufsteigenden Stangen von einem sich stärker ausdehnenden Metalle, so verbunden sind, dass die Ausdehnung der letzteren die Ausdehnung der ersteren aufhebt und so der Ort der zuletzt mit einer Eisenstange verbundenen schweren Linse fast unverändert bleibt. Zink empfiehlt sich seiner starken Ausdehnung wegen vorzüglich zur Compensation; deshalb bedient man sich dieses Metalles, in Verbindung mit Eisen, zur Verfertigung von Rostpendeln.

Fig. 59.



Das Quecksilberpendel besteht aus einer eisernen Pendelstange AB (Fig. 59), an deren unterem Ende sich ein cylindrisches Gefäss C mit Quecksilber befindet. Die erforderliche Menge des Quecksilbers lässt sich leicht bestimmen. Am kürzesten und einfachsten verfährt man, wenn man eine Uhr mit dem Pendel in einem besonderen Raume erhitzt und die Stellung des Rahmens so wie die Menge des Quecksilbers so lange abändert, bis die Uhr in der höheren und in gewöhnlicher Temperatur denselben verlangten Gang zeigt, wodurch man zugleich die Wirkung der Wärme auf die übrigen Theile der Uhr mit compensirt.

Das Pendel dient ferner dazu, die Richtung der Schwere anzuzeigen, worauf die Anwendung des Senkbleies beruht. Ein Pendel liefert den Beweis von der Unveränderlichkeit der Intensität der Schwere an demselben Orte, und den Beweis davon, dass die Intensität der Schwere mit der Entfernung vom Mittelpunkte der Erde abnimmt. Ein Pendel auf dem Gipfel eines Körpers macht weniger Schwingungen, als am Fusse desselben. In dem Umstande, dass Körper der verschiedensten Art, wie Metalle, Marmor, Thon, Quarz u. s. w. als Pendel angewendet, an einem und demselben Orte gleich schwingen, folgt ohne Zweifel, dass alle Körper an dem nämlichen Orte gleich schwer sind, d. h. mit gleicher Schnelligkeit zu Boden zu fallen suchen.

Verschiedenheit der Schwere an verschiedenen Orten.

Die Erde, ihre Gestalt und Grösse, und ihre Axendrehung. Die Erde erscheint auf den ersten Blick als eine nach allen Seiten endlos ausgebreitete Ebene, über welcher sich der Himmel mit seinen Wolken und Gestirnen in der Gestalt einer Halbkugel wölbt. In der That erblicken wir von unseren höchsten Gebirgen denjenigen Theil der Erde, welchen wir von unserem Standpunkte aus übersehen, stets nur als Ebene, und so sind wir dadurch veranlasst, die ganze Erde selbst für eine Ebene zu halten, über welcher der Himmel, gleich einem Gewölbe, ausgespannt ist. Diese Meinung konnte indess kaum in der Kindheit geistiger Entwickelung des Menschengeschlechtes Wurzel fassen und musste längst einer aufmerksameren Beobachtung der Erscheinungen weichen, da viele derselben sich nicht anders, als durch die Annahme erklären lassen, dass die Erde nach allen Seiten hin convex sei. Die hauptsächlichsten dieser Erscheinungen sind folgende. Täglich sieht man die Sonne im Osten auf- und im Westen untergehen, und doch ist es immer dieselbe Sonne, welche dieses Schauspiel tagtäglich erneuert. Der Mond und andere Gestirne des Himmels verschwinden ebenfalls täglich im Westen, um bald darauf wieder im Osten sichtbar zu werden. Wandert man von Norden nach Süden, so erhebt sich der Nordpol in Folge des zurückgelegten Weges und es werden immer mehrere Sterne Circumpolarsterne, während am südlichen immer mehrere unter dem Horizont zu stehen kommen und gar nicht mehr aufgehen. Entfernt sich ein Schiff vom Gestade, so sieht man die oberen Theile noch vollkommen, wenn die unteren schon längst verschwunden sind; je weiter das Schiff sich entfernt, desto weniger sieht man von den oberen Theilen, bis zuletzt auch die Spitzen der Masten verschwunden sind. Der Schatten der Erde, der bei Gelegenheit einer Mondfinsterniss auf dem Monde wahrzunehmen ist, zeigt uns am deutlichsten die kugelförmige Gestalt der Erde. Alle Gebirge und Erhabenheiten, die sich auf der Oberfläche der Erde befinden, sind nicht im Stande, die kreisrunde Gestalt der Erde zu verändern, und selbst die höchste Gebirgskette benimmt der Erde die Kugelform so wenig, als feiner Staub einer Kugel von mehreren Fuss Durchmesser. Die kugelförmige Erde hat keine Unterstützung und schwebt frei im Weltraume.

Wenn wir die Erscheinungen, welche uns der gestirnte Himmel darbietet, zusammenfassen, so wie sich dieselben unseren Augen darstellen, so sind sämmtliche Gestirne fortwährend in einer

gemeinschaftlichen Bewegung begriffen, gerade so, als ob sie an die innere Fläche einer die Erde umgebenden Hohlkugel gebunden wären, als ob sich diese Hohlkugel mit gleicher Geschwindigkeit täglich einmal um eine durch das Auge des Beobachters gehende Axe drehe. Diese Axe bezeichnet man mit dem Namen der Weltaxe; die Punkte, in welchen sie der Himmelssphäre begegnen, heissen die Weltpole; der in unseren Gegenden über dem Horizonte befindliche Punkt heisst der Nordpol, der andere, für uns unsichtbare, der Südpol. Als Horizont gilt hier der grösste Kreis, in welchem eine durch das Auge des Beobachters horizontal gelegte Ebene diese Sphäre trifft. Zieht man durch den Punkt der Erdoberfläche, auf welchem der Beobachter sich befindet, eine gerade, auf seinem Horizonte senkrechte Linie, so wird dieselbe verlängert durch den Mittelpunkt der Erde gehen und die Oberfläche des Himmels in zwei Punkte schneiden, von denen der eine, der über dem Beobachter sich befindet, das Zenith (der Scheitelpunkt), und der andere, unter dem Beobachter befindliche, das Nadir (der Fusspunkt) des Beobachters heisst. Diese beiden Punkte sind die Durchschnittspunkte sämmtlicher dem Beobachtungsorte entsprechenden Verticalkreise. Derjenige Verticalkreis, welcher die Weltpole in sich fasst, heisst der Meridian des Beobachters; dieser durchschneidet den Horizont in zwei Punkten; die Verbindungslinie, d. i. die Durchschnittslinie der Ebene des Meridians und Horizontes, heisst die Mittagslinie. Jede Ebene, die gegen die Weltaxe senkrecht geführt wird, schneidet die Himmelssphäre in einem Kreise, dessen Mittelpunkt in der Weltaxe liegt; ein jeder solcher Kreis heisst ein Parallelkreis. Der grösste Parallelkreis ist der Aequator. Durch den Aequator wird die Himmelskugel in die nördliche und in die südliche Hemisphäre getheilt.

Kommt der Erde Axendrehung zu, so beschreibt jeder Punkt derselben einen Kreis, und es sind nur zwei Punkte, die in einer durch den Erdmittelpunkt gehenden, geraden Linie liegen, von dieser Bewegung ausgenommen. Diese beiden Punkte bilden die Pole der Erde, von denen der in der Nordhälfte liegende Pol der Nordpol, der andere der Südpol heisst. Die gerade Linie ist die Erdaxe. Die Kreise, die durch ihre einzelnen Punkte bei ihrer Axendrehung beschrieben werden, heissen Parallelkreise der Erde, deren grösster der Aequator der Erde ist. — Die Gestalt der Erde ist von der Kugelform etwas verschieden; die Erde ist ein abgeplattetes Sphäroïd, dessen kleinere Axe die Richtung der Weltaxe hat. Die Erde hat an ihren beiden Polen eine Abplattung von nahe drei Meilen, und diese Abplattung ist für uns ein directer

Beweis für die Existenz der Rotation der Erde; sie bestätigt zugleich auch im Allgemeinen die Richtigkeit des früher angegebenen, dass die Erde einer vollkommenen Kugel mindestens sehr ähnlich ist, da die ausserordentlich geringe Abplattung der Erde nur den 286sten Theil ihres Halbmessers beträgt. Die Abplattung der Erde ist eine Folge der durch die Rotation erzeugten Fliehkraft, die an Orten, die dem Aequator näher liegen, stärker ist als an den Polen. Die Schwere der Körper erscheint als das Ergebniss zweier einander entgegenwirkender Kräfte, der Anziehung der Erde und der aus ihrer Rotation entspringenden Centrifugalkraft. Da nun ein jedes Theilchen irgend eines Körpers gegen die Erde zu fallen strebt, die Erde selbst aber als der Inbegriff der auf und in ihr befindlichen Körper betrachtet werden muss, so ist jedenfalls die Kraft, durch welche jedes Körpertheilchen nach der Erde hingetrieben wird, die Resultirende aller Anziehungen, welche dieses Theilchen von allen Punkten der Erde erfährt. Die Fliehkräfte der Körper aber, welche sich an der Oberfläche der Erde befinden und sich mit dieser um die Axe der Pole drehen, verhalten sich zu einander, wie die Halbmesser der Parallelkreise, die sie während der Umdrehung beschreiben. Die Schwungkraft wirkt der Schwere stets entgegen, und zwar am meisten am Aequator, weil sie an demselben ihren grössten Werth hat und der Schwere gerade entgegengesetzt ist. Der Unterschied der Schwere bei der ruhenden und bei der bewegten Erde ist ein sehr unbedeutender, und die Ursache dieser so geringen Differenz ist die verhältnissmässig langsame Bewegung der Erde. Wäre aber die Geschwindigkeit der Rotation der Erde grösser, oder mit andern Worten, wäre der Tag kürzer, so müsste die Centrifugalkraft der Erde grösser, und endlich so gross werden, dass sie der Schwere das Gleichgewicht hielt. Letzteres würde der Fall sein, wenn unser Tag 17 mal kürzer wäre; dann würden Körper, wenn sie unter dem Aequator sich selbst überlassen würden, nicht mehr zur Erde fallen, sondern in jedem Punkte über der Erde frei stehen, ohne dass es nöthig wäre, dieselben zu unterstützen. Je kleiner mit der Annäherung zu den beiden Polen die Parallelkreise der Erde werden, desto kleiner wird die Schwungkraft, so dass sie an den beiden Polen gänzlich verschwindet. Während aber die Schwungkraft von dem Aequator zu den Polen hin wie die Halbmesser der Parallelkreise abnimmt, nimmt die Schwere nicht in demselben Verhältnisse ab. Es würde dies nur dann der Fall sein, wenn die Richtungen dieser beiden Kräfte stets einander entgegengesetzt wären; dies sind sie aber nur am Aequator, an welchem die Schwere die Körper senk-

recht abwärts, die Schwungkraft dieselben senkrecht aufwärts treibt. Die Folge davon, dass in allen übrigen Punkten der Erdoberfläche diese beiden Richtungen immer grössere Winkel bilden, je näher man den Polen kommt, ist die, dass die Schwere der Erde nicht bloss im Verhältnisse der Halbmesser der Parallelkreise, sondern dass sie langsamer vermindert wird, d. h. dass sie gegen die Pole zu schneller wächst. Die Zunahme der Schwere an den Polen, verglichen mit ihrer Grösse am Aequator, ist nahe $\frac{1}{200}$.

Specifisches Gewicht der Erde. Die Erde ist auf keinen Fall eine gleichförmig dichte Kugel. Am naturgemässesten ist es wol, sich die Dichte von der Oberfläche nach dem Mittelpunkte hin zunehmend zu denken, weil die äusseren Schichten auf die inneren drücken. Der Ermittelung der Dichte der Erde auf theoretischem Wege stehen grosse Schwierigkeiten entgegen. Da ein Bleiloth in der Nähe grosser Berge von der verticalen Richtung abgelenkt wird, so benutzten Maskelyne und Hutton diese Ablenkung, um die Dichte der Erde zu bestimmen. Beide Physiker untersuchten, um wie viel der Berg Sheballien ein freihängendes Loth seitlich ablenkte. Es wurde von zwei Kräften gespannt, von der Anziehung der Erde und von der des Berges, und erhielt sich daher in der Diagonale des Parallelogramms, deren Verhältniss aus den Seiten bestimmt wurde. Man fand hiernach die mittlere Dichte der Erde zu 4,56. wenn man die des Wassers als Einheit annimmt. Auf einem andern Wege, nämlich vermittelst der Drehwage, fand Cavendish für die Dichte der Erde = 5,48. Reich in Freiberg hat diese Versuche auf zuverlässigere Weise angestellt und daraus die Dichte = 5,44 gefunden, welche Zahl als die sicherste Angabe gelten muss. Es ist bemerkenswerth, dass, wenn man mit Koosen (Journ. f. prakt. Chem. XXII. p. 490) annimmt, dass die hauptsächlichsten Elemente in der Erde im Verhältniss ihrer Aequivalente vorkommen, man die Dichte der Erde = 5,6 findet.

Allgemeine Schwere oder Gravitation.

Wenn gleich schon in der Aristotelischen Schule Andeutungen über die allgemeine Gravitation als die Ursache der Bewegungen der Himmelskörper vorkommen, so ist doch Keppler als derjenige anzusehen, welcher diesen Gegenstand zuerst mit Bestimmtheit auffasste, und die S. 40 angeführten Gesetze erkannte. Newton, der Begründer der Lehre von der Centralbewegung, leitete aus den

Keppler'schen Gesetzen das Gesetz der Kraft ab, welche die Planeten ihren elliptischen Bahnen zu folgen nöthigt. Dieses Gesetz der Anziehung, nach welchem die verschiedenen Planeten im umgekehrten Verhältnisse ihrer Entfernungen von der Sonne gegen dieselbe hingezogen werden, als die allgemeine Beziehung eines jeden Massentheilchen des Universums zu jedem anderen betrachtet, verbunden mit dem Gesetz, dass die Anziehungen in gleichen Entfernungen den Massen proportional sind, ist das Gesetz der allgemeinen Gravitaton. Dasselbe findet seine Bestätigung in dem Umlaufe der Trabanten um ihre Hauptplaneten, der Kometen um die Sonne, den Störungen, welche die Himmelskörper in ihren Bewegungen durch ihre gegenseitige Anziehung erleiden, den Erscheinungen der Ebbe und Fluth u. s. w. Wenn die Hauptplaneten nur von der Sonne, die Nebenplaneten nur von ihren Hauptplaneten angezogen würden, ohne dass die Planeten selbst auf einander einwirken könnten, so müssten die Gesetze der elliptischen Bewegung selbst in aller Schärfe gelten. Die Gravitation ist aber eine allgemeine Eigenschaft der Materie; deshalb wirken die Planeten selbst auf einander ein und stören sich in ihren rein elliptischen Bewegungen. Selbst die Sonne muss einige Schwankungen erleiden, die aber wegen der verhältnissmässig geringen Masse der Planeten sehr unbedeutend sind. Diese Aenderungen der elliptischen Bewegungen nennt man Störungen (Perturbationen).

Eine andere Wirkung der Gravitation ist die Erscheinung der Ebbe und Fluth, welche darin besteht, dass sich die Gewässer des Oceans an jedem Tage in immer wiederkommender regelmässiger Folge erheben und senken. Die ersten sechs Stunden des Tages sind sie im Steigen begriffen; dies ist die Zeit der Fluth. Wenn das Wasser seine grösste Höhe erreicht hat, verweilt es daselbst als Hochwasser; bald darauf sinkt es eben so regelmässig wieder zu seiner ersten Tiefe herab, die Zeit der Ebbe, die ebenfalls nur sechs Stunden dauert, bis es seine grösste Tiefe erreicht hat, um darauf wieder zu seiner früheren Höhe zu steigen. Diese Erscheinung wird durch die Anziehung des Mondes und der Sonne gegen den festen Kern der Erde und das Meer hervorgebracht, wobei der Mond den überwiegenden Einfluss ausübt. Die Höhe der Fluth ist nicht fortwährend dieselbe, sondern unterliegt bedeutenden Veränderungen, welche in deutlicher Beziehung zu den Mondphasen und mit der Entfernung des Mondes von der Erde stehen. Die Erscheinung der Ebbe und Fluth lässt sich auf folgende Weise erklären: Die Anziehung, welche der Mond gegen den ihm zugekehrten Theil der Meeresoberfläche äussert, ist, in Folge der

geringeren Entfernung, stärker als die Anziehung gegen den festen Kern der Erde. Daher muss das dem Monde zugekehrte Meerwasser um ein grösseres Wegstück dem Monde entgegenrücken, als der feste Erdkörper, und das entgegengesetzt liegende Meer gegen den festen Erdkörper um ein gleiches Wegstück zurückbleiben. Das Wasser muss sich mithin in den Endpunkten des gegen den Mond hinziehenden Erddurchmessers anhäufen und an den 90° davon abliegenden Stellen senken. Auf gleiche Weise erzeugt die Sonne ihre eigene schwächere Ebbe und Fluth, die sich mit der durch die Einwirkung des Mondes erzeugten zu einer resultirenden verbindet.

Sechster Abschnitt.

Vom Gleichgewichte tropfbarflüssiger Körper (*Hydrostatik*).

Die Hydrostatik hat zum Zweck, die Bedingungen des Gleichgewichtes tropfbarflüssiger Körper und den Druck, den dieselben auf die Wände der Gefässe ausüben, zu ermitteln. Die wesentlichste Eigenschaft eines tropfbarflüssigen Körpers besteht in der leichten Beweglichkeit aller Theilchen nach allen Richtungen; diese Beweglichkeit erstreckt sich aber nur auf die Theilchen im Innern, und die Flüssigkeit erscheint an der Oberfläche wie mit einem festen Häutchen überzogen. Es lässt sich dies leicht daraus wahrnehmen, dass ein Körper im Stande ist, auf einer Flüssigkeit zu schwimmen und sie wie ein gespanntes Häutchen eindrückt, so lange der Körper nicht benetzt ist, sogleich aber zu Boden fällt, wenn er das Häutchen durchbrochen hat und nass geworden ist. Kleine flüssige Massen lassen sich in die Länge ziehen, ehe sich die Theilchen von einander trennen. Dieses Verhalten ist ebenfalls die Ursache der Tropfenbildung. Die Eigenschaften der tropfbarflüssigen Körper sind durch zwei Kräfte bedingt, nämlich durch die Schwere und die Molekularanziehung; aus der Resultirenden beider geht der tropfbarflüssige Zustand hervor.

Es befinde sich in einem Gefässe eine tropfbare Flüssigkeit, welche durch einen Stempel gedrückt wird, im Zustande des Gleichgewichts, so wird zunächst nur das unmittelbar unter dem Stempel befindliche Wasser einen Druck erleiden; bei näherer Betrachtung aber wird sich ergeben, dass sich der Druck nach allen Richtungen in gleichem Grade ausbreitet. Die nach unten liegenden Schichten werden vermittelst der dazwischen liegenden gedrückt, und da die Theilchen eines tropfbarflüssigen Körpers auch nach den Seiten hin verschiebbar sind, so pflanzen dieselben den Druck auch auf die neben ihnen zur Seite liegenden Theilchen fort. Ein jedes Wassertheilchen wird also nach allen Richtungen hin gleich stark gedrückt; der dadurch auf gleiche Stellen der Wände des Gefässes ausgeübte Druck muss dem Druck der Wassertheilchen gleich sein. Bei ungleich grossen Stellen verhält sich der auf sie wirkende Druck wie die Grösse der Stellen; so erleidet eine doppelt so grosse Fläche auch den doppelten Druck. Daraus folgt:

1) ***dass in zusammenhängenden Flüssigkeiten jeder auf einen Theil einer Fläche ausgeübte Druck in gleicher Stärke auf einen gleichen Theil jeder anderen Fläche wirkt,*** oder mit anderen Worten, ***dass der Druck in einer Flüssigkeit sich nach allen Richtungen hin gleichmässig verbreitet;***

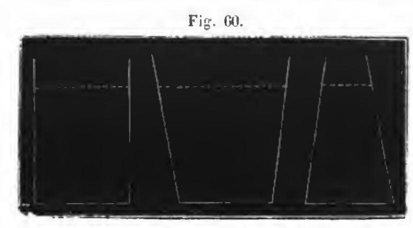
2) ***dass der Druck der Ausdehnung der Fläche proportional ist, die man betrachtet.***

Wenn eine schwere Flüssigkeit in hinreichender Menge in einem Gefässe enthalten ist, so bewirkt der Druck der oberen Schichten auf die unteren ein Auseinanderfliessen der tropfbaren Masse, das nur durch den Widerstand des Gefässes aufgehoben wird. Daher kommt es, dass tropfbar flüssige Körper stets die Form des Gefässes annehmen, in welchem sie enthalten sind. In offenen Gefässen muss sich die Gestalt der Oberfläche der Flüssigkeit einem Kugelsegmente in dem Masse nähern, als sich die Gestalt der Erde einer Kugel nähert. Nimmt man an, dass die Schwerkraft allein wirkt, so ist es klar, dass die Oberfläche aller Meere theils eine Kugeloberfläche sein muss, und dass diese Oberfläche aller unter sich zusammenhängenden Meere an allen Orten gleich weit vom Mittelpunkte der Erde entfernt sein müsse. Da aber ausser der Schwerkraft noch andere Kräfte auf die Theilchen des Wassers wirken, so ist seine Oberfläche nicht mehr senkrecht gegen die Richtung

der Schwere, sondern senkrecht gegen die Richtung der Resultirenden aus allen diesen Kräften; die von der Rotation der Erde herrührende Kraft wirkt fortwährend mit der Schwere, daher kommt es, dass das Meer an den Polen abgeplattet ist, dass an dem Fusse hoher Gebirge, die das Bleiloth von der Richtung abzulenken im Stande sind, die Oberfläche des Meeres nicht mehr genau ein Kugelsegment ist. Die anziehende Kraft des Mondes und der Sonne erzeugen eben so mit der Schwere eine Resultirende, die nicht mehr vertical ist, und so entsteht, da die bewegliche Oberfläche des Meeres stets ins Gleichgewicht zu kommen sucht, die schon erwähnte Ebbe und Fluth. Bei kleinen Wassermassen in offenen Gefässen kann man die Richtung der Schwere für parallel halten und annehmen, die Oberfläche der Flüssigkeit liege in einer horizontalen Ebene. Man nennt diese Ebene den Spiegel oder das Niveau der Flüssigkeit.

Aus dem Vorstehenden geht hervor, dass, wenn flüssige Massen im Gleichgewichte sind, sie auf sich selbst und auf alle festen Körper, mit welchen sie in Berührung kommen, einen bedeutenden Druck ausüben. Hat man irgend ein Gefäss mit horizontalem Boden und verticalen Wänden, das auf einer festen Ebene steht, und enthält dasselbe eine Flüssigkeit, so trägt der Boden das ganze Gewicht der Flüssigkeit. Dieser Druck, der auf diese Weise ausgeübt wird, ist aber unabhängig von der Quantität der Flüssigkeit, und richtet sich nur nach der Höhe und nach der Dichte der Flüssigkeit, so wie nach der Flächengrösse des horizontalen Bodens. Der Druck ist der nämliche, mag das Gefäss cylindrisch sein, oder irgend welche Form haben; in den in beistehender Figur (Fig. 60) dargestellten Gefässen ist der Druck auf den Boden derselbe, vorausgesetzt, dass die Höhe der Flüssigkeitssäule dieselbe ist und der Boden eine gleiche Flächengrösse besitzt. Da der Boden eines cylindrischen Gefässes genau das ganze Gewicht der Flüssigkeit zu tragen hat, und der Boden eines schiefen, oben erweiterten Gefässes denselben Druck erleidet, so geht daraus hervor, dass der Druck in diesen Gefässen nicht mehr dem Gewichte der Flüssigkeit, sondern dass er nur

Fig. 60.



dem Gewichte einer geraden Wassersäule gleich ist, welche dieselbe Höhe und dieselbe Flächengrösse hat.

Der Druck wirkt auf alle Theile des Bodens gleich schwer, das Drittel, das Viertel u. s. w. des Bodens hat demnach auch nur $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ u. s. w. des Totaldruckes auszuhalten. Mit einer gegebenen Menge Wasser kann man daher eben so leicht einen Druck von $\frac{1}{100}$ oder $\frac{1}{1000}$, als auch einen hundert- bis tausendfachen Druck ausüben.

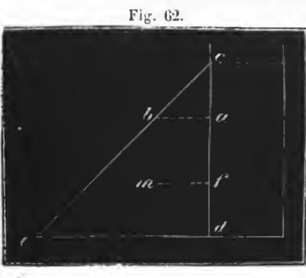
Aber nicht allein auf den Boden des Gefässes, sondern auf jeden Theil im Innern wird ein Druck ausgeübt, der von der Tiefe dieses Theiles unter dem Spiegel abhängig ist. Nehmen wir an, es sei im Inneren einer Flüssigkeit eine mit dem Spiegel parallele Schicht *cd* (Fig. 61), so trägt sie nothwendig das Gewicht des Flüssigkeitscylinders *abcd*. Ganz denselben Druck muss aber auch die Schicht *cd* von unten nach oben aushalten. Daraus folgt, dass, wenn man einem festen Cylinder, z. B. *ghef*, in die Flüssigkeit taucht, seine Basis einen Druck von unten nach oben auszuhalten hat, welche ihn nach oben hin zu bewegen sucht.

Fig. 61.

Macht man in den Boden eines Schiffes eine Oeffnung, so steigt das Wasser augenblicklich empor; daher ist es nöthig, um den Druck von unten nach oben auszuhalten, dass der Boden grösserer Schiffe sehr stark construirt sei.

Der Seitendruck ist aus dem entsprechenden horizontalen Drucke nach dem Princip der gleichmässigen Fortpflanzung des Druckes nach allen Seiten hin abzuleiten; dieser Druck lässt sich durch Zeichnung anschaulich machen. Da der Druck, welcher an einem Punkte der Seitenwand ausgeübt wird, abhängig ist von seiner Tiefe unter dem Niveau der Flüssigkeit, so kann dieser Druck durch irgend eine gerade horizontale Linie dargestellt werden, deren Länge der Tiefe des Punktes unter dem Niveau gleich ist. Zieht man daher in *a* (Fig. 62) eine Horizontale *ab*, welche eben so lang, als der Punkt *a* unter

Fig. 62.

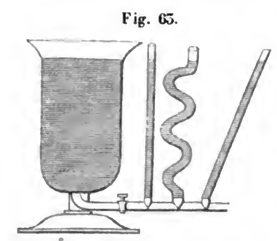


dem Wasserspiegel tief ist, so stellt die Linie *ab* den Druck dar, welchen der Punkt auszuhalten hat. Construirt man auf gleiche Weise für mehrere Punkte der verticalen Linie *cd* Linien, so werden die Endpunkte aller dieser Horizontalen in die Linie *ce* fallen; der Totaldruck auf die Linie *cd* wird demnach durch das Dreieck *cde* dargestellt. Die Resultirende aller dieser einzelnen Druckkräfte muss die Linie *dc* in einem ihrer Punkte treffen; man nennt diesen Punkt den Mittelpunkt des Druckes.

Diese Mittelkraft trifft aber nicht mit dem Schwerpunkte der Linie zusammen, da der Druck nach unten beständig zunimmt. Gewiss wird es aber der Punkt *f* sein, in welchem die durch den Schwerpunkt *m* des Dreiecks *cde* gehende Horizontale die Linie *cd* trifft. Seine Entfernung vom Boden beträgt mithin ein Drittel von der Höhe der Flüssigkeit.

Communicirende Röhren. Befindet sich eine homogene Flüssigkeit in Gefässen, die mit einander verbunden sind (wie in Fig. 63), so muss das Niveau der Flüssigkeiten in allen Gefässen gleich sein, von welcher Gestalt auch immer die Wände des Gefässes beschaffen sein mögen. Solche Gefässe, bei welchen der Uebergang von dem einen in das andere nicht gesperrt ist, nennt man communicirende Röhren, oder Communicationsgefässe. Sind die Flüssigkeiten in den Gefässen verschiedenartig, so ist das Niveau in denselben nicht gleich. Sie werden sich dann, je nach ihrem specifischen Gewichte, in ungleicher Höhe das Gleichgewicht halten; die eine Flüssigkeit wird eine so oft mal niedrigere Säule bilden, als ihr specifisches Gewicht das der andern Flüssigkeit übertrifft.

Fig. 63.



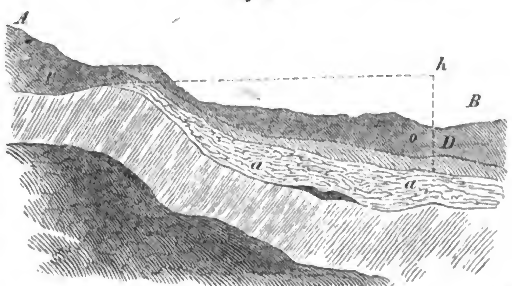
Eine Quecksilbersäule braucht nur einen Zoll Höhe, um einer Wassersäule von 13,5 Zoll, einer Aethersäule von 19 Zoll, oder einer Oelsäule von 14 Zoll das Gleichgewicht zu halten. Das Princip vom Gleichgewichte heterogener Flüssigkeiten findet bei den hydrostatischen Lampen Anwendung.

Die Grundsätze der Hydrostatik finden nicht nur ihre Bestätigung bei Flüssigkeiten, die sich in Gefässen befinden, sondern auch bei Gewässern auf der Erdoberfläche. Aus ihnen erklärt sich das gleiche Niveau der unter sich in Verbindung stehenden Meere, aus ihnen auch das Steigen des Wassers in den artesischen

Brunnen, welche an Orten angebracht werden, wo beim Graben, selbst bis zu bedeutender Tiefe, noch kein Wasser gefunden wird, weil die porösen Schichten der Gesteine das Wasser von der Oberfläche der Erde in grössere Tiefe einsickern lassen, oder weil das von Anhöhen und Bergen herabfliessende Wasser unter die in den Thälern und Ebenen aufgeschwemmten Thonschichten gelangt, welche das Aufsteigen des Wassers an die Oberfläche verhindern. Bohrt man aber mehrere Hundert, ja selbst Tausend Fuss tief in die Erde, so dass die Thonschicht durchbrochen wird, so wird nach dem Gesetze der communicirenden Röhren das unterhalb derselben angesammelte Wasser in dem Bohrloche in die Höhe getrieben, so dass es zuweilen aus dem Bohrloche emporquillt, oder auch, wie bei einem Springbrunnen, weit über die Mündung des Bohrloches hinaus in die Höhe springt. Beistehende Zeichnung



Fig. 64.



stellt uns das Princip eines artesischen Brunnens dar. Das Wasser der Erdoberfläche AB sickert durch die Schichten CD in eine poröse, aus Sand u. s. w. gebildete Schicht aa, welche oben und unten mit einer für das Wasser undurchdringlichen Thonschicht umgeben ist. Wenn das Wasser aus der Sandschicht nicht in dem Masse abfliessen kann, als es zufliesst, so sammelt es sich darin an. Bohrt man nun an irgend einem Orte, z. B. unter h, eine Oeffnung durch die Thonschicht o bis zur wasserführenden Schicht aa, so bildet dieses Bohrloch mit dem Wasserreservoir einen communicirenden Arm, in welchem das Wasser bis zu der Höhe h, zu welcher es in der Schicht a reicht, emporzusteigen sucht.

Dasselbe hydrostatische Princip liegt bei den gewöhnlichen Oellampen zu Grunde, bei welchen zwei Gefässe mit einander communiciren, bei der zum Nivelliren dienenden Kanalwage u. s. w.

Gleichgewicht der in Flüssigkeiten eingetauchten Körper. Schwere Körper bewegen sich oft in einer Richtung, welche der der Schwere entgegengesetzt ist. Holz und Kork steigen in die Höhe, wenn man sie ins Wasser taucht, Blei und Eisen steigen im Quecksilber, eben so steigt ein mit Wasserstoffgas oder mit erwärmter atmosphärischer Luft angefüllter Ballon in der Luft in die Höhe. Alle diese Erscheinungen gründen sich auf einen Hauptsatz der Hydrostatik, der von Archimedes gefunden und nach ihm das archimedische Princip genannt wird. Dieses Princip lässt sich auf folgende Weise ausdrücken: ***Ein Körper, der in irgend eine Flüssigkeit eingetaucht wird, verliert von seinem absoluten Gewichte gerade so viel, als das gleiche Volumen Wasser, welches durch den eingetauchten Körper verdrängt wird, wiegt,*** oder mit andern Worten: ***Taucht man einen Körper in eine Flüssigkeit, so wird ein Theil seines Gewichtes von der Flüssigkeit getragen, welches dem Gewichte des verdrängten Wassers gleich ist.***

Wird irgend ein fester Körper in eine Flüssigkeit getaucht, so können drei Fälle vorkommen, je nachdem sein specifisches Gewicht grösser, gleich oder kleiner als das der Flüssigkeit ist. Bezeichnet man das Gewicht eines Körpers im leeren Raume mit P, das der Flüssigkeit unter demselben Volumen mit p, so ist sein Gewicht in der Flüssigkeit $P - p$. Ist $P > p$, so sinkt der Körper in der Flüssigkeit zu Boden; ist $P = p$, so verhält sich der Körper in der Flüssigkeit wie eine gewichtlose Masse; ist aber endlich $P < p$, so steigt der Körper auf die Oberfläche der Flüssigkeit und bleibt nur so weit eingetaucht, dass das Volumen der Flüssigkeit, welche durch den eingetauchten Körper verdrängt wird, so viel als der letztere wiegt. Es versteht sich, dass P und p als Gewichte unter demselben Volumen in demselben Verhältnisse stehen, wie die specifischen Gewichte des eingetauchten Körpers und der Flüssigkeit.

Wenn sich ein Körper in einer Flüssigkeit befindet, so wirken auf ihn zwei Kräfte ein; nämlich seine Schwere, die ihn nach abwärts zieht, die in dem Schwerpunkte vereinigt gedacht werden kann, und der Druck der Flüssigkeit, welche ihn nach oben zu treiben strebt. Das Gleichgewicht des Körpers in der Flüssigkeit

ist demnach nur von der Wirkung zweier Kräfte abhängig, die nach verticalen, aber entgegengesetzten Richtungen wirken, und sich an dem Endpunkte einer Linie befinden, welche beide Schwerpunkte verbindet.

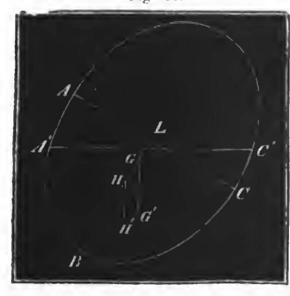
Es ist daher erforderlich, damit ein Körper, der sich in einer Flüssigkeit befindet, im Gleichgewichte sei, dass sein Gewicht genau so viel als das der verdrängten Flüssigkeitsmasse betrage; dass ferner der Schwerpunkt der Flüssigkeit und der des eingetauchten Körpers in einer und derselben verticalen Linie liege. Man sagt in diesem Falle, der Körper schwimmt.

Fig. 65.



Es sei $ABCD$ (Fig. 65) der Querdurchschnitt eines in einer Flüssigkeit schwimmenden Körpers und ABC der eingetauchte Theil, so dass AC eine Linie bildet, die mit dem Niveau der Flüssigkeit in einer Ebene liegt. Der Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeitsmasse sei in H, der des verdrängten Körpers in G. Es werde der Körper aus seiner Gleichgewichtslage gebracht und dann sich selbst überlassen. In dieser neuen Lage werde das Niveau der Flüssigkeit durch $A'C'$ (Fig. 66) bezeichnet. Der Theil CLC' des Körpers befindet sich in der Flüssigkeit, während ALA' daraus vertrieben ist; beide Theile sind einander gleich. Das Gewicht des Volumens der verdrängten Flüssigkeit ist dem des Körpers gleich, wie es in der Gleichgewichtslage der Fall war. Der Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit liegt aber nicht mehr in H, sondern in H', während die Lage des Schwerpunktes des Körpers dieselbe geblieben ist. Daraus geht hervor, dass die beiden Schwerpunkte nicht mehr in einer verticalen Linie liegen. Wenn man durch den Punkt H' eine Verticale zieht, so schneidet

Fig. 66.



dieselbe die Linie BL im Punkte H. Das Gewicht des Körpers wirkt in seinem Schwerpunkte vertical abwärts, der Druck der verdrängten Flüssigkeit hingegen vertical aufwärts gegen den Punkt H hin. Wenn der Schwerpunkt des Körpers unter H liegt, so kehrt der Körper in seine ursprüngliche Gleichgewichtslage zurück, und das Gleichgewicht ist in diesem Falle stabil. Liegt aber der Schwerpunkt über H, so kehrt der Körper nicht in die anfängliche Gleichgewichtslage zurück. Der von unten nach oben wirkende Wasserdruck entfernt den Körper noch mehr aus seiner Gleichgewichtslage, so dass sich derselbe umkehrt, um seine Gleichgewichtslage wieder herzustellen. Den Punkt H nennt man das Metacentrum dieses Körpers, und man kann allgemein sagen. ***Ein in eine Flüssigkeit nur zum Theil eingetauchter Körper schwimmt nur dann mit Stabilität, wenn sein Schwerpunkt unter seinem Metacentrum liegt.***

Bei einem Schiffe ist die Lage des Metacentrums abhängig von der Gestalt des Schiffes. Beim Beladen desselben sind die Lasten stets so zu vertheilen, dass der Schwerpunkt des Schiffes mit der Ladung unter das Metacentrum zu liegen kommt.

Aus dem Vorstehenden folgt, dass jeder Körper in einer Flüssigkeit, die gegen denselben specifisch schwerer ist, mit einer gewissen Kraft in die Höhe steigen und aus der Flüssigkeit mehr oder weniger hervortreten muss. Hierauf beruht z. B. die Wasserwage oder Libelle.

Fig. 67.

Dieselbe besteht im Wesentlichen aus einer cylindrischen Röhre (Fig. 67), die in der Richtung ihrer Länge kreisförmig gebogen, bis auf einen kleinen Theil mit Wasser oder besser mit Alkohol gefüllt und luftdicht verschlossen ist. Steht die Basis der Röhre horizontal, so hat die Mitte der Röhre den höchsten Stand und die Luftblase fällt mit ihm zusammen. Dieser Apparat dient zur Untersuchung, ob Ebenen u. s. w. horizontal sind.

Körper, die in ihrem natürlichen Zustande specifisch schwerer als Wasser sind, können in dieser Flüssigkeit zum Schwimmen gebracht werden, wenn man sie so verkleinert, dass sie den Widerstand der Flüssigkeit nicht mehr überwinden können, oder wenn man sie hohl macht, oder mit Körpern verbindet, die specifisch leichter als Wasser sind.

Hierauf beruht das Schwimmen kleiner Erdtheilchen im Wasser; hierauf gründet sich die bekannte Manipulation des Schlemmens, durch welches in der Metallurgie aus den gepochten Erzen die kein Erz enthaltenden Theilchen der Gangart von den Erz führenden, specifisch schwereren geschieden werden. Es erklärt sich ferner hieraus die Einrichtung unserer Schiffe und die Möglichkeit, Schiffe selbst aus Eisen zu construiren und ausserdem noch mit Materialien zu beladen, die specifisch schwerer als Wasser sind. Vermittelst des oben Angeführten leuchtet die Möglichkeit ein, in die Tiefe des Meeres versunkene Gegenstände mit Hülfe leerer Fässer wieder zu Tage zu fördern; aus dem nämlichen Grunde können diese Fässer beträchtliche Lasten tragen, wenn sie auf dem Wasser schwimmen, daher die Benutzung von Schiffen (Pontons) zu Brücken. Die Wirkung der kugelförmig gestalteten hohlen Metallkörper, der sogenannten Schwimmer, die besonders bei der Regulirung der Dampfmaschinen eine grosse Rolle spielen, indem sie bei denselben Ventile in Bewegung setzen, erklärt sich auf dieselbe Weise, wie das Schwimmen der Schiffe auf dem Wasser.

Bestimmung des specifischen Gewichtes fester und tropfbarflüssiger Körper auf hydrostatischem Wege.

Wenn man im Stande wäre, die Volumina der Körper mit derselben Genauigkeit zu messen, mit der man die Gewichte der Körper findet, so brauchte man nur, um das specifische Gewicht eines Körpers zu bestimmen, sein absolutes Gewicht durch sein Volumen zu dividiren, (vergl. Seite 56). Da aber das Volumen eines Körpers mit unregelmässiger Bewegung durch Messung nicht hinreichend genau gefunden werden kann, so zieht man es vor, die Dichte eines Körpers zu bestimmen und dieselbe mit dem specifischen Gewichte des Wassers zu multipliciren, um das specifische Gewicht eines Körpers zu erfahren. Es handelt sich nur darum, genau das specifische Gewicht von reinem destillirten Wasser zu bestimmen. Eine der vorzüglichsten Methoden, das Gewicht einer Volumeneinheit, z. B. das eines Kubikcentimeters Wasser bei $+ 4^0$ C. zu bestimmen, besteht im Wesentlichen in Folgendem. Ein metallener Cylinder, aus dessen Durchmesser und Höhe der Rauminhalt v nach Kubikcentimetern berechnet worden ist, wird ins Wasser getaucht, das Gewicht bestimmt, welches der Cylinder hierbei verliert, und dieser Gewichtsverlust durch das in Kubikcentimetern ausgedrückte Volumen v dividirt und so das Gewicht eines Kubikcentimeters (eines Grammes), d. h. das specifischen Gewicht des reinen Wassers erhalten.

Die Temperatur des Maximums der Dichte des Wassers wird von den Physikern verschieden angegeben;

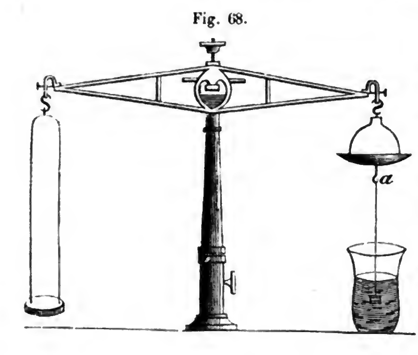
nach Hällström beträgt dieselbe $t = 4{,}031^{\circ}$
„ Munke „ „ „ $3{,}879^{\circ}$ } nach zwei Beobach-
„ Munke „ „ „ $3{,}972^{\circ}$ } tungsreihen.
„ Stampfer „ „ „ $3{,}790^{\circ}$

Despretz giebt als Mitte seiner Versuche die Zahl 3,997 an. Da die Dichte der Körper durch Abwägen derselben im Wasser bestimmt wird, so muss die unmittelbar durch den Versuch gefundene Zahl von der Dichte desselben, also auch von der Temperatur abhängen, welche das Wasser bei der Wägung hatte. Es ist daher nothwendig, alle Bestimmungen des specifischen Gewichtes auf dieselbe Temperatur zu reduciren. Am besten würde sich hierzu die Temperatur von 0° eignen; hierin herrscht leider aber keine Uebereinstimmung, indem einige Beobachter die Dichte des Wassers bei ihrem Maximum als Einheit zu Grunde legen.

Man erhält die Dichte eines Körpers, wenn man das absolute Gewicht desselben P durch das absolute Gewicht eines gleichen Volumens Wasser p, von der Temperatur, bei welcher der Versuch angestellt wurde, dividirt: $D = \frac{P}{p}$. Die auf diese Weise gefundene Zahl muss erst auf die Einheit der Dichte, auf die sie bezogen werden soll, reducirt werden. Es geschieht dies auf folgende Weise. In der angegebenen Formel setzt man anstatt p den Werth p', nämlich das Gewicht eines gleichen Volumens Wasser bei der Temperatur, für welche man die Dichte des Wassers als Einheit annimmt; bedeutet d^t die Dichte des Wassers bei t°, d° bei 0°, so ist $p' = p \frac{d^{\circ}}{t^{\circ}}$; die wahre Dichte D' des Körpers ist daher

$$D' = \frac{P}{p} \cdot \frac{d^t}{d^{\circ}} = D \cdot \frac{d^t}{d^{\circ}}.$$

Fig. 68.



Man bestimmt die Dichte oder das specifische Gewicht fester und tropfbar flüssiger Körper auf hydrostatischem Wege entweder vermittelst der **hydrostatischen Wage** oder mittelst der **Aräometer**.

Die **hydrostatische Wage** (Fig. 68) ist eine gewöhnliche, sehr empfindliche Wage, bei welcher die eine Wagschale an sehr kurzen Schnüren aufge-

hängt und auf der unteren Seite bei *a* mit einem Häkchen versehen ist. Man kann daher eine jede empfindliche Schalenwage dadurch in eine hydrostatische verwandeln, dass man anstatt der einen Schale eine andere gleich schwere mit kürzeren Schnüren oder Drähten und einem Häkchen versehene, aufhängt.

Die Bestimmung des specifischen Gewichtes starrer Körper mittelst der hydrostatischen Wage ist im Allgemeinen wesentlich dieselbe; durch die Verschiedenheit der Form der Körper, durch die Auflöslichkeit dieser Körper im Wasser und durch das Schwimmen derselben auf dem Wasser erleidet jedoch die Methode der Bestimmung einige Abänderungen. Ist der Körper fest, im Wasser unlöslich und specifisch schwerer als dasselbe, so befestigt man den Körper mittelst eines Haares oder Drahtes an dem Häkchen der kleineren Wagschale und wägt ihn in der Luft. Darauf bringt man den aufgehängten Körper ins Wasser; in dem Augenblicke, in welchem der Körper in das Wasser taucht, wird das Gleichgewicht der Wage gestört, und es muss, um dasselbe wieder herzustellen, so viel an Gewichten auf die andere Wagschale gelegt werden, als ein dem Körpervolumen gleiches Wasservolumen wiegt. Mit dem letzteren Gewichte dividirt man in das absolute Gewicht des Körpers, um das specifische Gewicht dieses letzteren zu erfahren. Bei genauen Bestimmungen ist es nothwendig, das Gewicht des Drahtes, dessen man sich zum Aufhängen des Körpers bediente, mit zu berücksichtigen.

Das Gewicht eines Stück Eisens beträgt an der Luft 16,120 Gramme.
Beim Wägen im Wasser verliert es 2,100 „
so ist das specifische Gewicht des Eisens = 7,724, wenn man das specifische Gewicht des Wassers = 1,000 setzt, denn $\frac{16,120}{2,100} = 7,724$.

Anstatt den Körper an einem Drahte aufzuhängen, kann man denselben auch in ein Schälchen aus Glas legen, das vermittelst eines feinen Drahtes an den Häkchen *a* der hydrostatischen Wage aufgehangen wird. Man wägt den Körper zuerst an der Luft auf der kürzeren Wagschale, hängt dann die gläserne Schale ein und wägt dieselbe leer im Wasser, darauf bringt man den Körper von der kürzeren Wagschale in die gläserne Schale und wägt ihn im Wasser. Der Gewichtsverlust ist wieder das Gewicht eines dem Volumen des Körpers gleichen Volumens Wasser. Bezeichnet man den Gewichtsverlust des Schälchens mit dem darin befindlichen Körper mit V, und den Gewichtsverlust des Schälchens allein mit v, so ist $V - v = q$ der Gewichtsverlust des Körpers allein, und

mithin $\frac{p}{q}$ das specifische Gewicht des Körpers. Dieser Methoden bedient man sich besonders zur Bestimmung des specifischen Gewichtes von Körpern, die in Körnern, Spänen oder in Pulverform vorhanden sind, und sich nicht an einen Faden befestigen lassen.

Für feste Körper, die specifisch leichter als Wasser sind, bestimmt man das specifische Gewicht dadurch, dass man dieselben nach dem Wägen in der Luft an ein Stück Metall bindet, dessen Gewicht gross genug ist, um die leichteren Körper mit unter das Wasser zu ziehen. Zuerst bestimmt man den Gewichtsverlust v, welchen das Metall allein beim Wägen im Wasser erleidet, und zieht diesen von dem Verlust V, welchen das Metall und der Körper zusammen erleiden, ab, wodurch man den Gewichtsverlust erfährt, welchen der Körper allein erleidet.

Man hat z. B. das specifische Gewicht des Korkes zu bestimmen.

Der Kork wiege	1,460 Gramme.
Das Stück Metall verliert im Wasser	2,200 „
Metall und Kork verlieren im Wasser	8,300 „
Der Kork allein verliert demnach	8,300 — 2,200 = 6,100 Gr.

6,100 Gr. ist daher das Gewicht eines Volumens Wasser, welches dem Volumen von 1,460 Gr. Kork entspricht; das specifische Gewicht des Korkes ist demnach $\frac{1,460}{6,100} = 0,24$.

Ist der Körper, dessen specifisches Gewicht bestimmt werden soll, im Wasser löslich, so wendet man eine Flüssigkeit an, in welcher der Körper unlöslich ist. Das specifische Gewicht der Flüssigkeit muss aber bekannt sein, um daraus das des Wassers berechnen zu können.

Man habe z. B. das specifische Gewicht des Steinsalzes zu bestimmen.

Das Stück Steinsalz wiege an der Luft	8,52 Gramme.
In Terpentinöl, einer Flüssigkeit, in welcher sich das Steinsalz nicht löst, beträgt der Gewichtsverlust	3,47 „
Das specifische Gewicht des Terpentinöls beträgt	0,872 „

So ist das specifische Gewicht des Steinsalzes 2,15, denn:

$$3,47 : 8,52 = 0,872 : 2,15.$$

Bestimmung specifischer Gewichte von Flüssigkeiten. Wenn der Gewichtsverlust bekannt ist, den ein Körper beim Wägen im Wasser erleidet, und darauf der Gewichtsverlust bestimmt wird, der bei demselben Körper beim Wägen in einer andern Flüssigkeit stattfindet, so hat man alle Bedingungen zur Bestimmung des specifischen Gewichtes von Flüssigkeiten; denn be-

kanntlich zeigen beide Gewichtsverluste die Gewichte der gleichen Volumen der beiden Flüssigkeiten an.

Will man z. B. das specifische Gewicht von Alkohol auf diese Weise bestimmen, so benutzt man gewöhnlich ein birnförmiges Stück Glas, das man vermittelst eines Haares oder eines Platindrahtes an den Häkchen *a* der kürzeren Schale der hydrostatischen Wage aufhängt. Das absolute Gewicht des Glasstückes wird hierbei nicht berücksichtigt.

Der Glaskörper verliere im Wasser 62 Gramme.
" " " " Alkohol 54 "
so ist das specifische Gewicht des Alkohols 0,877, denn:

$$62 : 54 = 1{,}00 : X$$
$$X = 0{,}877.$$

Fig. 69.

Eine andere Methode der Bestimmung des specifischen Gewichtes einer Flüssigkeit besteht darin, dass man die betreffende Flüssigkeit und reines Wasser in eine graduirte Communicationsröhre bringt. Wie Seite 80 angeführt worden ist, ***verhalten sich die specifischen Gewichte der*** eingefüllten ***Flüssigkeiten umgekehrt wie die Höhen der in dem Communicationsgefässe im Gleichgewichte stehenden Flüssigkeiten.*** Bezeichnet man mit S das specifische Gewicht, eines Kubikcentimeters Wasser, und mit S′ das eines gleichen Volumens der betreffenden Flüssigkeit, so ist $\frac{S'}{S}$ das specifische Gewicht der letzteren. In der Folge werden wir bei Betrachtungen der Erscheinungen des Luftdruckes Gelegenheit haben, einen sehr bequemen Apparat, um das specifische Gewicht einer Flüssigkeit zu bestimmen, kennen zu lernen.

Bestimmung des specifischen Gewichtes flüssiger und fester Körper vermittelst der Aräometer. Ein Aräometer ist gewöhnlich ein hohler Glaskörper von der Fig. 69 gezeichneten Gestalt. Die Röhre *AB* ist genau cylindrisch, der Körper unter *A* ist hohl, bei *C* mit Quecksilber oder Bleischrot gefüllt. Das Gewicht des ganzen Apparates ist so abgemessen, dass derselbe in der schwersten Flüssigkeit nur bis *A*, in der leichtesten bis *B* einsinkt. Der Raum zwischen *A* und *B* ist genau eingetheilt und die Theilung genau auf einem Papiere verzeichnet, das sich in

der Röhre *AB* hermetisch verschlossen befindet. Das Princip aller Aräometer ist, dass ein in eine Flüssigkeit eingetauchter fester Körper um so tiefer in dieselbe einsinkt, je dünner sie ist. Im Allgemeinen schwimmt ein fester Körper in einer Flüssigkeit dann, wenn er leichter ist, als ein dem seinigen gleiches Volumen der Flüssigkeit. Der unter die Oberfläche des Wassers getauchte Theil des schwimmenden Körpers ist stets eben so schwer wie der von ihm aus der Stelle gedrängte Theil der Flüssigkeit. Kennt man daher das Gewicht des schwimmenden Körpers, so braucht man nur noch das Volumen des aus der Stelle gedrängten Theiles der Flüssigkeit zu bestimmen, um zu wissen, wie viel eine gewisse Quantität der Flüssigkeit wiegt, und kann leicht das specifische Gewicht derselben bestimmen. Bei dem eben angeführten Aräometer ist die Genauigkeit der Eintheilung zwischen *A* und *B* Hauptsache. Ein jeder Theil dieser Eintheilung ist, wenn die Röhre *AB* ein genauer Cylinder ist, auch ein genauer Theil des ganzen Volumens, so dass, wenn das Volumen des Instrumentes von *C* bis *A* durch die Zahl n ausgedrückt wird, und von *A* bis *D* x Theile sind, das ganze Volumen von *C* bis *D* durch $n + x$ ausgedrückt werden kann. Setzt man nun in zwei Flüssigkeiten gleiche Temperaturen voraus, und sinkt das Aräometer in die eine Flüssigkeit bis *D*, in die andere bis *E* ein; enthält ferner *AD* x Theile des Volumens, *AE* deren x′, so lässt sich das durch das Instrument verdrängte Flüssigkeitsvolumen durch $n + x$ in der einen, durch $n + x'$ in der andern Flüssigkeit ausdrücken. Aus den hydrostatischen Gesetzen des Schwimmens folgt, dass in dem hier angenommenen Falle ein Volumen $n + x$ der einen Flüssigkeit einem Volumen von $n + x'$ der anderen an Gewicht gleich sei.

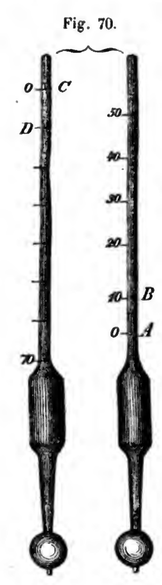
Die Dichtigkeiten (specifischen Gewichte) zweier Körper von gleichem Gewicht verhalten sich aber umgekehrt wie die Volumina derselben. Während viele Aräometer auf der Scale die Volumina angeben, lässt sich die Eintheilung auch so einrichten, dass sie sogleich die specifischen Gewichte zu erkennen giebt. Alle Aräometer, die nach dem eben angegebenen Princip eingerichtet sind, heissen Scalen-Aräometer.

Der Schwimmer eines Aräometers lässt sich auch so einrichten, dass man sein Gewicht verändern kann. Man senkt denselben in die zu untersuchende Flüssigkeit und vermehrt sein Gewicht so lange, bis er zu einer bestimmten bezeichneten Stelle eingesunken ist. Das Volumen der aus der Flüssigkeit gedrängten Stelle ist dann stets dasselbe, und kennt man das Gewicht des Schwimmers, weiss man ferner, um wie viel dieses Gewicht vermehrt

werden muss, damit der Schwimmer bis zur bezeichneten Stelle einsinkt, so kennt man das Gewicht einer Quantität Flüssigkeit vom Volumen des Schwimmers bis zur bezeichneten Stelle. Die absoluten Gewichte verhalten sich wie die specifischen Gewichte. Diejenigen Aräometer, die nach diesem Princip construirt sind, nennt man Gewichts-Aräometer oder Hydrometer. Wir führen nun im Folgenden einige derjenigen Aräometer an, die für den Physiker und Techniker von Bedeutung sind.

Scalen-Aräometer. Nach der Verschiedenheit der Scala, welche man diesem Aräometer giebt, unterscheidet man Aräometer mit empirischer und mit rationeller Scala.

Fig. 70.



Die Scala der Aräometer mit empirischer Scala ist sehr einfach und auf die Weise dargestellt, dass man das Instrument im Wasser bis zu einem bezeichneten Punkte durch Belastung der Kugel eindrückt, es dann in eine Flüssigkeit von bestimmtem specifischen Gewichte einsenkt, den Punkt, bis zu welchem es hineinsinkt, genau notirt, und nun den Abstand zwischen beiden Punkten in eine gewisse Anzahl gleich grosser Theile (Grade) eintheilt. Aräometer dieser Art sind die Aräometer von Baumé. Es sind deren zwei: das eine für leichtere Flüssigkeiten, das andere für schwerere bestimmt. Bei dem ersten wird der Punkt *B* (Fig. 70), bis zu welchem es in reines destillirtes Wasser, bei einer Temperatur von 11° R., einsinkt, durch die Zahl 10 bezeichnet. In eine Mischung von 1 Theil Kochsalz und 9 Th. Wasser taucht man das Instrument bis *A* ein, so ist der Raum *AB* in 10 Theile zu theilen, bei *A* die Ziffer 0 zu setzen, und dieselbe Eintheilung über *B* bis zu 50 Theilen fortzusetzen. Auf diese Weise erhält man die Baumé'schen Aräometergrade für leichtere Flüssigkeiten. An dem zweiten Instrumente, welches in destillirtes Wasser, bei 11° R., bis *C* einsinkt, erhält dieser Punkt der Scala die Bezeichnung 0; ein tiefer liegender *D* wird bestimmt, indem man das Aräometer in eine Mischung von 3 Th. Kochsalz und 17 Th. Wasser senkt. Der Raum *CD* wird in fünfzehn gleiche Theile getheilt, bei *D* steht 15, und die Scala wird unter *D* abwärts bis zu 70 Theilen fortgesetzt. Aus beiden Scalen lassen sich die Werthe

für das specifische Gewicht ableiten, wenn man vorher die Dichtigkeiten der Salzlösungen genau bestimmt hat.

Folgende Tabelle enthält einige Vergleichungspunkte.

a) Für schwerere Flüssigkeiten:

Grade	Spec. Gew.	Grade	Spec. Gew.	Grade	Spec. Gew.	Grade	Spec. Gew.
0	1,000	20	1,157	40	1,375	60	1,690
5	1,034	25	1,205	45	1,442	65	1,793
10	1,072	30	1,256	50	1,515	70	1,909
15	1,113	35	1,312	55	1,596	72	1,900

b) Für leichtere Flüssigkeiten:

Grade	Spec. Gew.	Grade	Spec. Gew.	Grade	Spec. Gew.	Grade	Spec. Gew.
10	1,000	25	0,903	40	0,824	55	0,763
15	0,965	30	0,875	45	0,803	60	0,744
20	0,933	35	0,849	50	0,784		

Fig. 71.

a

Unter den Aräometern mit rationeller Scala ist anzuführen das Volumeter von Gay-Lussac. Denkt man sich an dem Fig. 71 abgezeichneten Aräometer die Stelle, bis zu welcher dasselbe im Wasser einsinkt, mit *a* bezeichnet, und von diesem Punkte an eine Theilung in Graden so ausgeführt, dass das Volumen eines Röhrenstückes, welches je zwischen zwei Theilstriche fällt, also das Volumen eines Grades $\frac{1}{100}$ von dem in Wasser einsinkenden Volumen ist, so hat man ein Volumeter. Zwischen den Graden des Volumeters und dem specifischen Gewichte findet folgende Beziehung statt. Sinkt z. B. das Volumeter in einer Flüssigkeit bis zum Theilstriche 80 der Scala ein, so weiss man dadurch, dass 80 Volumina dieser Flüssigkeit so viel als 100 Volumine Wasser wiegen; das specifische Gewicht würde demnach sein $\frac{100}{80} = 1{,}25$. Allgemein kann man sich folgendermassen ausdrücken: Wenn das Volumeter in irgend einer Flüssigkeit bis zum 1sten Theilstrich einsinkt, so ist das specifische Gewicht der Flüssigkeit $d = \frac{100}{r}$; so ist z. B. das

secifische Gewicht eines Gemisches von Alkohol und Wasser, in welchem das Volumeter bis zum 125sten Theilstriche einsinkt $= \frac{100}{125} = 0,8$.

Eine andere Art von Aräometern mit rationeller Scala ist die, auf deren Scalen die specifischen Gewichte selbst notirt sind. Es versteht sich von selbst, dass bei allen diesen Aräometern gleiche Räume auf der Scala nicht gleichen Unterschieden in den specifischen Gewichten entsprechen können, weil die Grösse des eingesunkenen Theiles immer beträchtlicher wird, ein je geringeres specifisches Gewicht die Flüssigkeit besitzt; nach oben hin bezeichnen also grössere Räume gleiche Unterschiede im specifischen Gewichte.

Ausser den hier angeführten Aräometern, welche sich zur Bestimmung des specifischen Gewichtes aller Körper eignen, giebt es noch besondere Aräometer, die nur für gewisse Flüssigkeiten dienen, und zwar hauptsächlich für solche, welche Gemische sind von verschiedenen Flüssigkeiten oder Auflösungen von festen Substanzen. Diese Instrumente zeigen aber seltener die specifischen Gewichte der betreffenden Flüssigkeiten an, sondern vielmehr, wie viel in einer solchen Flüssigkeit Procente ihres Gewichtes oder ihres Volumens enthalten sind. Nach diesem Princip construirte Aräometer heissen Procenten-Aräometer. Für jede Auflösung dieser Art muss ein besonderes Aräometer construirt werden, und um diese zu bezeichnen, giebt man denselben besondere Namen. So hat man Alkoholometer, Soolwagen (Salzspindeln), Galaktometer (Milchmesser), Bierwagen, Laugwagen u. s. w. Die gebräuchlichsten Alkoholometer sind die von Tralles und Richter. Mit dem letzteren stimmt das von Stoppani überein. Die Aräometer der beiden erstgenannten sind Procenten-Aräometer; die Differenz der Angaben rührt davon her, dass das Aräometer von Tralles Volumenprocente, das von Richter Gewichtsprocente angiebt. Da die Eintheilung des Richter'schen Aräometers auf nicht ganz richtigen Voraussetzungen beruht, so ist das Aräometer von Tralles vorzuziehen. Folgende Tabelle giebt eine Vergleichung der beiden Scalen unter einander und mit den wahren Gewichtsprocenten von Alkohol mit dem entsprechenden specifischen Gewichte bei einer Temperatur von 15° an.

Specifisches Gewicht.	Wahre Gewichtsprocente.	Angebliche Gewichtsprocente nach Richter.	Volumenprocente nach Tralles.
0,990	4,99	5	6,23
0,981	11,11	10	13,73
0,972	18,12	15	22,20
0,964	24,83	20	30,16
0,956	29,82	25	36,50
0,947	35,29	30	42,12
0,937	40,66	35	48,00
0,926	46,00	40	53,66
0,915	51,02	45	58,82

Specifisches Gewicht.	Wahre Gewichtsprocente.	Angebliche Gewichtsprocente nach Richter.	Volumenprocente nach Tralles.
0,906	54,85	50	62,65
0,899	60,34	55	67,96
0,883	64,79	60	72,12
0,872	69,79	65	76,66
0,862	74,66	70	80,36
0,850	78,81	75	84,43
0,838	82,72	80	88,34
0,827	88,36	85	91,85
0,815	92,54	90	95,05
0,805	96,77	95	97,55
0,795	99,60	100	99,75

Bei den Gewichts-Aräometern oder Hydrometern ist das Gewicht veränderlich, während das Instrument stets ein gleiches Volumen Flüssigkeit verdrängt; bei den Scalen-Aräometern ist umgekehrt das Gewicht constant, die Tiefe des Einsinkens aber verschieden. Fahrenheit war der erste, der ein Aräometer mit Gewichten construirte. Dasselbe bestand in einem gewöhnlichen Aräometer mit dünnem Rohr, das an seiner oberen Spitze ein Schälchen trug. An der Röhre ist eine durch einen Feilstrich angedeutete Marke angebracht, bis zu welcher das Instrument, bei einer bestimmten Belastung, im Wasser untergeht. Ist das Gewicht des Aräometers allein $= P$, die Belastung, bei welcher es im Wasser bis zur Marke einsinkt, $= p$, so verdrängt es ein Wasservolumen vom Gewichte $P + p$. Bedarf es einer Belastung q, damit das Aräometer in einer anderen Flüssigkeit bis zu derselben Marke untersinke, so ist das Gewicht des jetzt verdrängten, dem früheren gleichen Flüssigkeitsvolumen $= P + q$, also das specifische Gewicht dieser Flüssigkeit $= \frac{P + q}{P + p}$.

Richtet man die Gewichte P und p so ein, dass sie zusammen eine Potenz von 10 bilden; z. B. $P = 700$ Grammen, $p = 300$ Grammen, so dass $P + p = 1000$ Grammen, und das Aräometer bedarf in einer anderen Flüssigkeit der Belastung von 437 Grammen, so ist das specifische Gewicht derselben $\frac{700 + 437}{1000} = 1{,}137$. Man hat in diesem Falle nur nöthig, die Belastung, welche das Instrument erfordert, um in einer Flüssigkeit bis zur bezeichneten Stelle unterzusinken, zu 700 zu addiren, und das Komma um drei Decimalen nach links zu rücken.



Fig. 72.

Allgemein angewendet ist das **Hydrometer von Nicholson**, welches den Vorzug hat, dass es auch bequem zur Bestimmung des specifischen Gewichtes fester Körper angewendet werden kann. Dieses Hydrometer besteht aus einem hohlen, kegelförmig zugespitzten Blechcylinder *A* (Fig. 72), einer auf dem oberen Drahte befestigten hohlen Schale *B*, und einem an dem unteren Drahte hängenden Kegel, der oben eine vertiefte Schale hat, inwendig aber mit Blei ausgegossen ist, so dass das ganze Instrument aufrecht im Wasser schwimmt und etwa zur Hälfte eingetaucht ist. Füllt man einen Glascylinder mit Wasser und setzt das Hydrometer hinein, so schwimmt es aufrecht; legt man Gewichte auf die Schale *B*, so taucht es tiefer ein, und dies zwar um so mehr, je mehr Gewichte man auflegt. Mit irgend einem Gewichte π wird es bis an den Hals eingesunken sein, und die Stelle *O*, bis zu welcher es eintaucht, bezeichnet man mit einem Feilstrich.

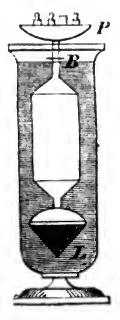


Fig. 73.

Will man nun das specifische Gewicht eines festen Körpers ermitteln, so darf sein absolutes Gewicht nicht mehr betragen als π, wohl aber weniger. Man lege den Körper auf das Schälchen *P* (Fig. 73), und setzt Schrotkörner hinzu, bis das Instrument bis zu *B* einsinkt; dann ersetzt man den Körper durch Grammengewichte, und erfährt so das Gewicht des Körpers in der Luft. Hierauf nehme man den Körper von der Schale hinweg, lege ihn auf die Schale des Kegels *L* und stellt das Gleichgewicht des Aräometers durch aufgelegte Grammenstücke her. Bezeichnet man mit *P* das absolute Gewicht des Körpers, das Gewicht des Wassers von demselben Volumen mit p, so ist das specifische Gewicht $S = \frac{P}{p}$. Das Hydrometer von Nicholson ist leicht und bequem zu handhaben, deshalb bedient man sich desselben vorzugsweise zur Bestimmung der specifischen Gewichte von Mineralien.

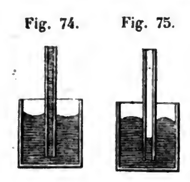
Es folgt nun eine Tabelle der specifischen Gewichte einiger fester und flüssiger Körper:

Platin	21.4	Aluminium	2,67	Wachs	0,96
Gold	19,36	Natrium	0,97	Brom	2,96
Quecksilber	13,56	Kalium	0,86	Harn	1,011
Blei	11.4	Alabaster	2,70	Kreosot	1,037
Silber	10,6	Alaun	1,75	Rüböl	0,91
Wismuth	9,8	Auripigment	3.48	Salzsäure	1,210
Kupfer	8,9	Campher	0,98	Salpetersäure	1,52
Kobalt	8,7	Feldspath	2,53	Schwefelsäure, engl.	1,845
Eisen	7,7	Kalkspath	2,71	Meerwasser	1,02
Zinn	7,3	Quarz	2,65	Steinöl	0,75
Zink	6,8	Salpeter	1,93	Aether	0,715
Antimon	6,8	Serpentin	2,43	Terpentinöl	0,792.
Arsen	5,8	Stahl	7,65		

Die Capillarerscheinungen.

Es giebt gewisse Erscheinungen, die sich nur durch die Annahme einer Molekularwirkung zwischen festen und flüssigen Körpern und den einzelnen Theilchen der Flüssigkeiten erklären lässt. Diese Erscheinungen, welche durch Cohäsion und Adhäsion bedingt sind, beruhen darauf, dass Flüssigkeiten zwischen engen Seitenwänden eine andere Niveaufläche zeigen und eine andere Oberflächenform darbieten, als das Gesetz der Schwere und der Druck der Luft, für sich allein genommen, zeigen würden. Diese Erscheinungen nennt man Capillar- oder Haarröhrchen-Erscheinungen. Die Grunderscheinung lässt sich am besten wahrnehmen, wenn man eine enge, an beiden Seiten offene Glasröhre in ein mit einer Flüssigkeit angefülltes Gefäss taucht; sie besteht hauptsächlich in der Verschiedenheit der Niveauhöhe innerhalb und ausserhalb der Röhre. Taucht man z. B. die Röhre in Wasser ein, so erhebt sich die Flüssigkeitssäule in dem Röhrchen (Fig. 74); bei Quecksilber hingegen steht die Quecksilbersäule im Röhrchen tiefer (Fig. 75). Die hierbei wirkenden Kräfte sind ausser der Schwere und dem Luftdruck, welcher letztere indessen ganz unberücksichtigt gelassen werden kann, da er innerhalb und ausserhalb der Röhre nicht merklich verschieden sein kann, die Anziehung zwischen den Röhrenwänden und den Flüssigkeitstheilchen, ferner die gegenseitige Anziehung der letzteren.

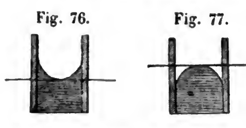
Fig. 74. Fig. 75.



Die Höhen der gehobenen oder niedergedrückten Flüssigkeitssäulen verhalten sich umgekehrt wie die Durchmesser der Röhrchen.

Folgender Versuch ist geeignet, die Wahrheit dieses Satzes darzuthun. Wenn man zwei Röhrchen, von denen das eine einen doppelt so grossen Durchmesser hat, als das andere, ins Wasser taucht, so steigt das Wasser in der engeren Röhre doppelt so hoch, als in der weiteren.

Wenn eine Flüssigkeit in einer engen Röhre aufsteigt, so ist der Gipfel der Flüssigkeitssäule stets hohl (Fig. 76) und bildet eine Halbkugel vom Durchmesser der Röhre; bei Flüssigkeiten, die herabgedrückt werden, findet das Umgekehrte statt und der Gipfel der Flüssigkeitssäule hat eine erhabene Gestalt (Fig. 77).


Fig. 76. Fig. 77.

Diese Gestalten hängen innig mit dem Steigen und Herabdrücken der Flüssigkeiten zusammen, und die Differenz des Niveau ist von der Gestalt des Gipfels der Flüssigkeit innerhalb der Röhren abhängig. Ueberzieht man die inneren Wände einer Röhre mit Fett und taucht dieselbe sodann in Wasser, so nimmt der Gipfel der Flüssigkeitssäule in dem Röhrchen eine erhabene Gestalt an, wie es der Fall ist, wenn man eine Glasröhre in Quecksilber taucht.

Die zwei Hauptkräfte, welche den Adhäsionserscheinungen zu Grunde liegen, sind, wie schon erwähnt, die Adhäsion und Cohäsion. Nehmen wir zuerst an, die Anziehung der Flüssigkeitstheilchen (die Cohäsionskraft) sei kleiner als die Anziehung der Gefässwände gegen die Flüssigkeitstheilchen (die Adhäsionskraft) und denken wir uns die Oberfläche der Flüssigkeit eben; bezeichnen wir ferner die Flüssigkeitstheilchen der Oberfläche, welche die Röhrenwände unmittelbar berühren, mit a, die von ihnen berührten Moleküle der Gefässwände mit b, so werden die an a zunächst liegenden Theilchen c der Flüssigkeitssäule stärker nach b hingezogen, als nach dem Centrum der Röhre. An den Wänden wird daher einerseits eine Verdichtung, andererseits eine Annäherung von c gegen b erfolgen, und der vom Mittelpunkte herkommende Druck wird, in Verbindung mit der Anziehung der unmittelbar über b befindlichen Gefässtheilchen, eine Verschiebung der Theilchen a nach oben hin bewirken, wo sie sich an die Gefässwände anlegen. Die Theilchen c, welche mit b in Berührung kommen, überlassen ihre Stelle den ihnen zunächst liegenden Theilchen, welche wiederum ihrerseits die Theilchen c nach oben drängen, u. s. w. bis endlich an den Rändern die Flüssigkeit so hoch steht, dass die Anziehung der Gefässwände nicht mehr dem Zug der Schwere und der darunter liegenden Flüssigkeitstheilchen nach

unten überwinden kann. Es wird dadurch ein Concavwerden der Oberfläche der Flüssigkeit bewirkt, da die hinaufgedrängten Theile vermöge ihrer Cohäsionskraft ihre Nachbartheilchen von der Richtung des Centrums her mit in die Höhe ziehen.

Ist umgekehrt die Cohäsion grösser als die Adhäsion (wie bei Glas und Quecksilber), so wird die Oberfläche convex statt concav, und das Niveau ist in der Röhre niedriger als das äussere Niveau, da in diesem Falle der stärkere Zug nicht mehr nach den Wänden, sondern nach dem Centrum der Röhre geschieht. Hiernach unterscheidet man Capillarattraction (sich auf den ersten Fall) und Capillardepression (sich auf den zweiten Fall beziehend).

Aus dem oben Angegebenen folgt, dass feste Körper und Flüssigkeiten nicht mit einander in Berührung kommen können, ohne dass die Oberfläche der Flüssigkeit eine Veränderung der Gestalt erleidet. In concentrischen Röhren, d. h. in einem ringförmigen Raume ist die Hebung oder das Niedersteigen genau so gross, wie in einer cylindrischen Röhre, deren Durchmesser doppelt so gross als die Dicke dieses ringförmigen Raumes ist. Wenn man einen Tropfen Wasser in ein cylindrisches horizontal liegendes Röhrchen bringt; so findet Gleichgewicht statt, da die Krümmungen der concaven Oberflächen an beiden gleich gross sind. Befindet sich aber der Tropfen in einem conischen Röhrchen, so wirkt nach dem engeren Theile zu die Concavität weit stärker, als in dem weiteren Theile, und das Wasser wird sich nach dem engeren Theile hinbegeben. Bei einem Tropfen Quecksilber, der sich in einem cylindrischen horizontalen Röhrchen im vollkommenen Gleichgewicht befindet, findet in einem conischen Röhrchen das Umgekehrte statt; da die Convexität im engeren Theile eine stärkere Krümmung hat, als in dem weiteren, so findet auch von dieser Seite ein stärkerer Druck auf das Quecksilber statt, und das Quecksilber wird sich nach dem weiteren Ende der Röhre hin bewegen. Wenn man zwei Glasplatten, die sich in einer verticalen Linie schneiden, ins Wasser taucht, so wird dasselbe längs der gemeinschaftlichen Kante beider Platten in die Höhe steigen; der Gipfel des gehobenen Wassers bildet eine gleichseitige Hyperbel, deren Asymptoten auf der einen Seite die Durchschnittslinie der Platten, auf der anderen das Niveau der Flüssigkeit ist, in welche die Platten eingetaucht sind.

Die Capillaritätskraft ist auch im Stande, Anziehung und Abstossung hervorzubringen. Wenn man hohle Kork- oder Glaskugeln auf Wasser bringt, so hebt sich das Wasser rings um dieselben; nähern sich die Kugeln einander dergestalt, dass das Wasser

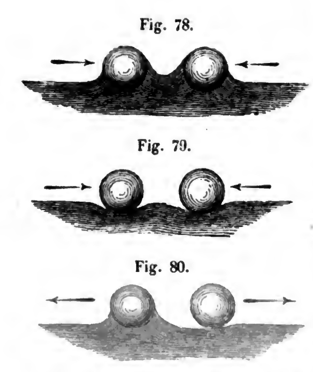

Fig. 78.

Fig. 79.

Fig. 80.

zwischen beiden keine Ebene mehr bildet (Fig. 78), so findet eine lebhafte Anziehung statt. Es findet ebenfalls eine Anziehung statt zwischen Kugeln, die von der Flüssigkeit nicht benetzt werden, wie Wachskugeln vom Wasser, Glaskugeln auf Quecksilber, indem die Kugeln von der äusseren Flüssigkeit gegen einander hingedrückt werden (Fig. 79). Wird endlich von zwei Kugeln die eine benetzt, die andere nicht, so stossen sie einander ab, in Folge der Krümmung der zwischen ihnen befindlichen Flüssigkeit (Fig. 80).

In einer communicirenden Röhre mit ungleich weiten Armen steht eine Flüssigkeit, den übrigen hydrostatischen Gesetzen zuwider, ungleich hoch, wenn der eine Arm eine Capillarröhre ist, oder wenn beide Röhren Capillarröhren von ungleicher Weite sind, und es steht die Flüssigkeit, wenn sie die Röhre benetzt, im engeren Arme stets höher, im entgegengesetzten Falle stets niedriger als im weiteren Arme; der Unterschied im Niveau ist um so grösser, je geringer der Durchmesser des einen Armes im Verhältniss zum Durchmesser des anderen Armes ist.

Wenn man eine heberförmig gebogene Capillarröhre in ein Gefäss mit Wasser einsenkt, so füllt sich die Röhre von selbst und das Wasser kommt zum Abfliessen, sobald nur der über der Wasserfläche befindliche Theil geringer ist als h, unter h die Höhe verstanden, bis zu welcher das Wasser durch Capillarität steigen kann. Das Abfliessen dauert so lange, bis das Niveau um $\frac{1}{2}$ h niedriger steht, als das untere Ende des freien Heberschenkels. Ein sich am letzteren bildender Wassertropfen wird dann vom Glase so stark angezogen, dass Gleichgewicht eintritt. Durch tieferes Einsenken bringt man ein neues Abfliessen hervor, während beim Hinaufheben der Endtropfen sich in den freien Schenkel zurückzieht, und eine rückgängige Bewegung des Wassers erfolgt, sobald sein Ende um mehr als h über das Niveau der Flüssigkeit im Gefässe gehoben wird.

Beispiele von Erscheinungen, die sich durch Capillarwirkungen erklären lassen, sind folgende: Flüssigkeiten steigen in porösen Körpern weit über die Stelle hinauf, an welcher sie mit diesen Körpern in Berührung stehen; so die Dochte der Lampen und Kerzen, in welchen das Oel oder der geschmolzene Talg weit über sein Niveau steigt; so magerer Thon, der auf Fettflecke gelegt, das durch Wärme flüssig gemachte Fett aufsaugt (das Walken der Tücher durch Walkererde gehört ebenfalls hierher): so nasser Thon beim Decken des Zuckers, dessen Wasser nach allen Richtungen hin durch den Zucker sickert und den daselbst befindlichen braun färbenden Zuckersyrup hinwegnimmt. Durch die Capillarwirkung erklärt sich ferner das Nasswerden eines Sandhaufens, einer Mauer, die sich auf feuchtem Grunde befinden, es erklärt sich daraus ferner der Nutzen des Papierleimens. Wie gross die Kraft der Capillarität ist, kann man daraus ersehen, dass man 1) grosse Steinmassen leicht von der übrigen Felsenmasse absprengt, indem man in letztere an passenden Stellen Löcher einmeisselt, in dieselben Keile von trockenem Holze eintreibt und die Keile darauf befeuchtet; dass man 2) durch die Gewalt, mit welcher ein befeuchteter Strick sich verkürzt, indem er durch Wasseraufnehmen dicker wird, bedeutende Lasten heben kann.

Endosmose. Zwei durch eine poröse, für einen geringen hydrostatischen Druck undurchdringliche Wand getrennte Flüssigkeiten treten gewöhnlich in ungleichen Mengen zu einander über, obgleich ihre chemische Anziehung, die Ursache ihrer Vermischung und ihres Ueberganges zu einander, auf beiden Seiten nothwendiger Weise gleich sein muss. Dem Zusammenströmen zweier durch ein Membran getrennte Flüssigkeiten hat Dutrochet die Namen Endosmose und Exosmose gegeben, je nachdem er die Zunahme der einen, oder die Abnahme der anderen durch das Membran getrennten Flüssigkeiten bezeichnen wollte. Es ist indessen schon die Benennung Endosmose ausreichend, wenn sie so gebraucht wird, dass man sagt: es finde Endosmose von der einen zur andern Flüssigkeit statt.

Die Erscheinungen der Endosmose haben die Aufmerksamkeit der Physiker vielfach in Anspruch genommen, und man hat dieses ungleiche Uebergangsverhältniss zwischen verschiedenen Flüssigkeiten auf das sorgfältigste geprüft und dazu das von Dutrochet angegebene Endosmometer benutzt. Diese Vorrichtung besteht aus einem engen, am unteren trichterförmig sich erweiternden Ende mit thierischer Blase überbundenen Glasrohre, welches mit der einen, gewöhnlich schweren Flüssigkeit theilweise angefüllt und dann in die andere eingesenkt wird. Hat man z. B. den Apparat mit Alkohol gefüllt und ihn dann in ein Gefäss mit Wasser gebracht, so bemerkt man nach einiger Zeit ein Steigen der Alkoholsäule, da ein Theil des Wassers durch die Blase zum Alkohol über-

getreten ist; stellt man den Versuch umgekehrt an, so fällt das Wasser in der Röhre, während ausserhalb das Niveau der Flüssigkeit steigt. Dutrochet hat in Bezug auf die endosmotischen Erscheinungen Folgendes festgestellt: 1) Es findet Endosmose statt von Gummiwasser zu Essigsäure, zu Salpetersäure, vorzüglich aber zu Chlorwasserstoffsäure (Salzsäure); nie findet aber Endosmose statt einer Flüssigkeit zu sich selbst. oder von Wasser zu verdünnter Schwefelsäure, oder umgekehrt. 2) Die erwähnte Eigenschaft der Blase kommt verschiedenen pflanzlichen und thierischen Membranen im ungleichen Masse zu. Platten von Thon und thonerdhaltigen Substanzen besitzen diese Eigenschaft ebenfalls, obgleich in bedeutend schwächerem Grade.

Die Massbestimmungen endosmotischer Durchgänge, wie sie mittelst des angegebenen Endosmometers ausgeführt wurden, sind deshalb ungenau, weil bei abnehmender Flüssigkeitssäule der Druck auf die geprüfte Haut abnahm. Dieser Fehler ist von Vierordt und Jolly durch zweckmässig construirte Apparate mit constantem Druck auf beiden Seiten der Blase sinnreich vermieden und einige Versuchsreihen mit Wasser gegen Zucker- und Kochsalzlösungen ausgeführt worden. Aus diesen Versuchen geht hervor, dass 1) ***die Stärke der Endosmose*** (Volumenabnehmen des Wassers oder Volumenzunehmen der Lösung) ***für dieselbe Art der Lösung proportional der relativen, d. h. in einer gewissen Menge der Lösung enthaltenen Quantität des gelösten Körpers ist;*** 2) ***dass die Menge der in der Einheit der Zeit übertretenden Stoffe unter sonst gleichen Verhältnissen der Dichte der Lösung proportional ist.***

Wenn ein mit Wasser gefüllter Raum mit Blase geschlossen ist, die auf der einen Seite durch Berührung mit der Flüssigkeit benetzt erhalten, auf der anderen Seite von der Luft bespült wird, so verdunstet die Feuchtigkeit an der äusseren Fläche, wird aber durch Zutritt von Wasser aus dem Inneren stets wieder ersetzt. Die Flüssigkeit erhält auf diese Weise eine Bewegung gegen die verdunstende Oberfläche, ihre Menge vermindert sich allmählich und in demselben Verhältnisse entsteht ein Uebergewicht des äusseren Druckes gegen die Behälterwände. Flüssigkeiten, welche einzelne Theile der Blase nach aussen berühren: Wasser, wässrige Lösungen, Oele, Alkohol u. s. w. können vermittelst dieses Druckes in den inneren Raum hineingetrieben werden.

Liebig belegt in einer Untersuchung über einige Ursachen der Säftebewegung im thierischen Organismus (Handwörterbuch der Chemie II. p. 920.)

dieses Verhalten durch zahlreiche Versuche und kommt zu dem Schlusse, dass die Hautausdünstung der Thiere, so wie die Verdunstung, welche an der Oberfläche der Lungen stattfindet, nothwendiger Weise eine ähnliche Bewegung der Flüssigkeiten im Innern des Thierkörpers, nämlich eine Bewegung nach der verdunstenden Oberfläche hin herbeiführen müsse. Liebig erinnert dabei an die fast vergessenen Beobachtungen von Hales über die Bewegung der Säfte in den Pflanzen, aus welchen derselbe damals schon den Schluss gezogen hat, dass die Verdunstung aus den Zweigen, Blättern, Blüthen und Früchten nicht nur die Aufnahme des Wassers in den Wurzeln, sondern auch das Aufsteigen desselben bis zu den höchsten Spitzen der Bäume bedingt.

Siebenter Abschnitt.

Vom Gleichgewichte ausdehnsamer Körper (*Aërostatik*).

Alle Erscheinungen, welche den ausdehnsamen (elastisch flüssigen) Körpern zukommen, und die Erklärung der Erscheinungen des Gleichgewichts und der Bewegung enthalten, sind: der flüssige Zustand (die absolut leichte Verschiebbarkeit ihrer Theilchen), die Ausdehnsamkeit (das Bestreben der Theilchen, sich von einander zu entfernen), die Zusammendrückbarkeit (die Fähigkeit der Theilchen, einander genähert werden zu können), die Schwere und die Adhäsion an andere Körper. Diejenigen der Erscheinungen bei tropfbar flüssigen Körpern, welche nur auf der Schwere und auf dem flüssigen Zustande beruhen, wie die Fortpflanzung des Druckes von einem Theilchen zu dem anderen, der dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeit gleiche Gewichtsverlust jedes von einer Flüssigkeit umgebenen Körpers, finden sich natürlich auch bei den ausdehnsamen Körpern wieder. Die Ausdehnsamkeit ertheilt aber den Erscheinungen bei ausdehnsamen Körpern einen eigenthümlichen Charakter, denn die bei tropfbaren Körpern durch die Schwere bedingte Anordnung der Theile ist bei ausdehnsamen Körpern fast nicht wahrzunehmen. In Folge der Ausdehnsamkeit üben die Gastheilchen auf jeden Körper, welcher einer weiteren Verbreitung Hindernisse entgegenstellt, einen bestimmten Druck aus, gegen welchen die Schwere unmerklich wird. Das Volumen eines ausdehnsamen Körpers kann

durch äusseren Druck bedeutend verringert werden, sobald aber die zusammendrückende Kraft wegfällt, nimmt auch der ausdehnsame Körper sein voriges Volumen wieder ein. Diese Eigenschaft nennt man die Elasticität der ausdehnsamen Körper. Die erwähnte Eigenschaft ist die Ursache, warum ein Gas auch in der geringsten Menge den ganzen, ihm dargebotenen Raum ausfüllt und gegen die bezeichnete Fläche einen Druck ausübt. Die Kraft, welche diesen Druck hervorbringt, heisst die Expansionskraft, Spannkraft oder Tension. Diese Kraft, mit welcher ein Gas auf irgend eine Stelle der Fläche einwirkt, mithin der Druck, den es auf eine Fläche = 1 ausübt, ist das natürlichste Mass für die Grösse der Spannkraft. Um die Grösse des Druckes zu ermitteln, lässt man das Gas auf einen tropfbarflüssigen Körper wirken, und misst die Höhe dieser Säule von der Grundfläche = 1 dieser Flüssigkeit, deren hydrostatischem Drucke das Gas durch seine Spannkraft das Gleichgewicht hält. Wenn man darauf mit der Höhe in das specifische Gewicht des tropfbarflüssigen Körpers dividirt, so erhält man den Ausdruck für die Grösse der Spannkraft des Gases.

Man theilt die ausdehnsamen Körper in Gase und Dämpfe. Mit dem ersteren Namen bezeichnet man diejenigen, welche bei keiner uns erzielbaren, noch so grossen Temperaturerniedrigung oder Zusammendrückung tropfbarflüssig werden. Dämpfe hingegen werden aus tropfbarflüssigen Körpern erzeugt, wenn diese Flüssigkeiten sieden; sie gehen bei verhältnissmässig geringer Abkühlung und Verdichtung wieder in den tropfbarflüssigen Zustand über. — Wir theilen das vorliegende Capitel ein in die Lehre vom Gleichgewicht der Gase (hauptsächlich der atmosphärischen Luft), und in die Lehre vom Gleichgewicht der Dämpfe.

I. Vom Gleichgewichte der Gase.

Unter den gasförmigen Körpern ist die atmosphärische Luft, welche die Lufthülle der Erde ausmacht, der wichtigste. Man betrachtet dieselbe als den Repräsentanten aller Gase, da die letzteren innerhalb gewisser Grenzen alle physikalischen Eigenschaften mit ihr gemein haben. In der atmosphärischen Luft muss man alle Stoffe voraussetzen, die schon bei der gewöhnlichen Temperatur in den gasförmigen Zustand übergehen können, sowie alle diejenigen, die als gasförmige Producte der natürlichen chemischen Zersetzung fortwährend auf der Oberfläche der Erde erzeugt wer-

den. Obwohl demnach sehr viele Gasarten in der Atmosphäre neben einander bestehen müssen, so zeigt doch die chemische Untersuchung nur wenige an, woraus gefolgert werden muss, dass die übrigen in so geringen Quantitäten vorhanden sind, dass sie sich den chemischen Reagentien entziehen. Die wesentlichen Bestandtheile der Atmosphäre sind Sauerstoff (21 Th.) und Stickstoff (79 Th.). Weil die Erde allenthalben von Luft umgeben ist, so muss dieselbe auf alle Theile der Erdoberfläche einen bestimmten Druck ausüben, der leicht durch das Experiment nachgewiesen werden kann.

Toricelli, ein Schüler Galilei's, kam zuerst, gestützt auf den Satz, dass, wenn zwei verschiedene Flüssigkeitssäulen sich das Gleichgewicht halten sollen, die Höhen derselben sich umgekehrt wie ihre specifischen Gewichte verhalten müssen, auf den Gedanken, dass dieselbe Ursache, welche das Wasser in einer Röhre um 32 Fuss hoch triebe und erhalte, auch das $13\frac{1}{2}$ mal schwerere Quecksilber um $\frac{32}{13,5}$ oder ungefähr 28 Zoll (760 Millimeter) treiben und halten werde. Er füllte eine über 30 Zoll lange, einige Linien weite, an einem Ende geschlossene Glasröhre mit Quecksilber, verschloss sie mit dem Finger, drehte sie um, brachte das zugehaltene Ende unter Quecksilber und zog den Finger hinweg. Das Quecksilber fiel in dem oberen Theile der Röhre und blieb in einer ungefähr 28 Zoll hohen Säule stehen Dieser Versuch, der unter dem Namen des Toricelli'schen Versuchs bekannt ist, zeigte, dass die Erhaltung der Wassersäule von 32 Fuss und der Quecksilbersäule von 28 Zoll von nichts Anderem, als von dem Drucke der auf diesen Flüssigkeitssäulen ruhenden und sich bis an die Grenzen der Atmosphäre erstreckenden Luftsäule herrühre.

Zunächst ist die Expansivkraft die Ursache dieses Druckes, denn unterbricht man die Verbindung der über dem äusseren Quecksilber verbundenen Luftsäule mit der übrigen Atmosphäre durch eine auf die Unterlage luftdicht passende Glasglocke, so bleibt das Quecksilber in der Röhre bei seinem vorigen Stande. Durch die Expansivkraft befindet sich ferner die Luft im Zustande der Verdichtung, in Folge des Druckes der über ihr liegenden Luftschichten, welche durch die Schwerkraft der Erde abwärts gezogen werden. Die Quecksilberhöhe wird daher bei dem Toricelli'schen Versuch minder hoch ausfallen, wenn man den Versuch an hochgelegenen Orten anstellt. Dieser Versuch beweist die Schwere der Luft. Die Höhe der Quecksilbersäule ist veränder–

lich; nur am Meeresstrande beträgt sie durchschnittlich 28 Zoll (760 Millimeter).

Eine Quecksilbersäule von 76 Centimeter Höhe und von einem Quadratcentimeter Grundfläche hat einen Rauminhalt von 76 Kubikcentimeter. Ein Kubikcentimeter Quecksilber wiegt 13,59 Gramme, also beträgt das Gewicht dieser Säule, oder auch der Druck auf ihre Grundfläche gleich $13{,}59 \times 76 = 1{,}033$ Kilogramme. Dies ist also auch der Druck einer Luftsäule auf einen Quadratcentimeter der Erdoberfläche. Eine diesem Drucke gleiche Kraft pflegt man eine Atmosphäre zu nennen.

Vom Barometer.

Das Barometer (oder der Luftdruckmesser) ist eine Vorrichtung, den Druck der Luft zu bestimmen. Der wesentlichste Bestandtheil desselben ist eine Toricelli'sche Röhre, die mit einer Scala zur Beobachtung des Quecksilberstandes versehen ist. Da das Quecksilber dazu dient, in der Röhre dem Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht zu halten, so bezeichnet man diese Instrumente, zur Unterscheidung von anderen Luftdruckmessern, mit dem Namen Quecksilberbarometer. Die verschiedene Form der Toricelli'schen Röhre an dem Instrumente giebt Veranlassung zur Unterscheidung von Gefässbarometern, Heberbarometern und Flaschenbarometern. Bei dem Gefässbarometer (Fig. 81) senkt sich die Röhre *AB* in ein cylindrisches Gefäss *C*. Die Höhe der Quecksilbersäule *EF*, welcher die Luftsäule das Gleichgewicht hält, wird von der Oberfläche des Quecksilbers in diesem Gefässe bis zum Gipfel der convexen Oberfläche desselben oben in der Röhre gerechnet und durch passende Vorrichtungen gemessen. Bei dem Heberbarometer (Fig. 82) ist die Röhre unten heberförmig gebogen und die Höhe *EF* ist die Erhebung der Quecksilberfläche in dem geschlossenen Schenkel über der in dem offenen, auf welchen der Druck wirkt. An dem Flaschen- oder Phiolenbarometer (Fig. 83) befindet sich anstatt des offenen Schen-

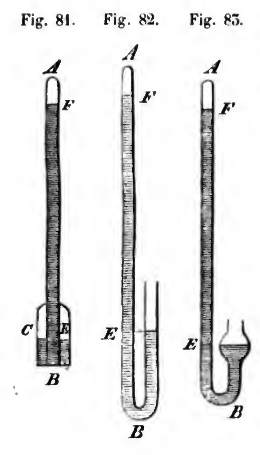


Fig. 81. Fig. 82. Fig. 83.

kels am Heberbarometer eine birnenförmige Erweiterung der Röhre; auch bei diesem Barometer ist EF die Länge der Quecksilbersäule, welcher der Luftdruck das Gleichgewicht hält.

Das gewöhnlichste Barometer ist das Gefässbarometer. Wenn dss Gefäss im Vergleich zum Durchmesser der Röhre weit genug ist, so lässt sich das Niveau im ersteren als constant ansehen, weil die Schwankungen der Säule nur von geringem Einflusse auf den Stand des Quecksilbers in der Röhre sind. Für genaue Untersuchungen eignen sich solche Barometer nicht. Zweckmässiger ist das Fortin'sche Gefässbarometer; bei diesem bildet ein Lederbeutel *ce* den Boden des Gefässes (Fig. 84), gegen welchen von unten eine Schraube *d* drückt. Durch Drehen lässt sich der Quecksilberspiegel des Gefässes heben und senken. Am Deckel des Gefässes ist ein Stahl- oder Elfenbeinstift *i* befestigt, deren Spitze dem Nullpunkte der Scala entspricht. Auf diese Weise erreicht man stets ein constantes Niveau des Quecksilbers, indem man so lange auf- und abschraubt, bis die Spitze *i* die Quecksilberfläche berührt. Das Annähern derselben und das Zusammentreffen kann durch die Spiegelung der Stahlspitze im Quecksilber sehr genau wahrgenommen werden. Nach beendigter Einstellung lässt sich der Stand des Quecksilbers in der Röhre genau beobachten und die Barometerhöhe unmittelbar ablesen.

Fig. 84.

Auf Reisen und bei Höhenmessungen, wo man nicht immer einen passenden Aufhängeort für das Barometer findet, bedient man sich eines hölzernen Gestelles, das von drei auseinander spreizbaren, in Charnieren beweglichen Füssen gebildet wird, zum Aufstellen des Barometers. — Barometer, die auf dem Meere gebraucht werden sollen, müssen wegen der Schwankungen des Schiffes eine von der gewöhnlichen Form abweichende Einrichtung erhalten. Die Röhre des Barometers (gewöhnlich des Fortin'schen Barometers) hat eine Weite von 0.5 Linien bis auf die oberen Zolle, welche die Weite eines gewöhnlichen Barometers haben. Durch diese Einrichtung ist bei Schwankungen des Schiffes das Quecksilber genöthigt, sich schnell durch die enge Röhre zu bewegen, wodurch seine Schwankungen sehr geschwächt werden. Dieses Barometer (Schiffsbarometer) ist mit einem massiven Metallknopfe versehen und etwas über seinem Schwerpunkte aufgehangen, wodurch es zu einem Pendel wird, welches trotz der schwankenden Bewegung des Schiffes keine isochronischen Schwingungen mit diesem annehmen kann, vielmehr durch Irrationalität beider Bewegungen zum Stillstand gelangt, welcher es möglich macht, den Barometerstand zu beobachten.

Unter den mannigfaltigen Verbesserungen, die das Heberbarometer als Reisebarometer erhalten hat, erwähnen wir

die nach Gay-Lussac's Angabe zuerst von Bunten ausgeführte. Die Röhre ist so gebogen, dass der untere Schenkel in einer geraden Linie mit dem oberen Theile des längeren Schenkels liegt (Fig. 85). Auf diese Weise ist es möglich, dass der Stand der Quecksilberkuppen auf einer und derselben Scala abgelesen werden kann. Die beiden Schenkel der Röhre sind vereinigt; der kürzere Schenkel der Röhre ist ebenfalls zugeschmolzen und hat, ungefähr $\frac{1}{3}$ seiner Länge vom Ende entfernt, eine capillare Oeffnung *i*, durch welche wol Luft eindringen, nicht aber Quecksilber auslaufen kann. Dieses Barometer lässt sich demnach ohne Gefahr umdrehen.

Fig. 85.

i

Construction eines Barometers. Die Construction eines solchen Instrumentes ist in der That nichts anderes, als der schon erwähnte Toricelli'sche Versuch. Wenn aber ein Barometer stets den Druck der Atmosphäre richtig angeben soll, so sind einige Vorsichtsmassregeln zu beobachten. Vor Allem ist es nothwendig, dass das Quecksilber von allen Beimengungen (Oxyd oder Staub) frei sei, denn im unreinen Zustande hat es die Eigenschaft, am Glase zu haften. Die Reinigung des Quecksilbers geschieht dadurch, dass man es durch Filtrirpapier filtrirt, bis auf dem Papier kein Schmutz mehr zurückbleibt, und das durchgelaufene Quecksilber mit stark verdünnter Salpetersäure wiederholt und stark schüttelt. Die Säure wird darauf durch Waschen mit destillirtem Wasser entfernt. Die zweite Bedingung, damit die Höhe der Quecksilbersäule als richtiges Mass des Luftdruckes angesehen werden kann, ist, dass die sogenannte Toricelli'sche Leere (eine Bezeichnung für den leeren Raum über der Quecksilbersäule) weder Luft noch Feuchtigkeit enthalte, weil diese ausserdem wegen ihrer Ausdehnsamkeit dem äusseren Luftdruck entgegen wirken, und eine Erniedrigung der Säule hervorbringen würden. Damit alle Luft aus dem Quecksilber entfernt werde, wird das Quecksilber in der Barometerröhre selbst bis zum Sieden erhitzt. Wenn etwas Luft in der Toricelli'schen Leere zurück bleiben oder nach und nach eindringen sollte, so wird der daraus entstehende Fehler um so geringer, je grösser das Volumen des leeren Raumes ist. Daraus folgt, dass die Barometerröhren nicht zu eng sein dürfen. — Beim Ablesen an der Scala ist die Capillardepression des Quecksilbers in Anschlag zu bringen; bei Gefässbarometern vermeidet man den daraus entstehenden Fehler, wenn man dem Rohre eine solche Weite giebt, dass keine Erniedrigung des Quecksilberstromes stattfinden kann (Normalba-

rometer). Vermittelst eines solchen Instrumentes kann man für jedes Gefässbarometer die Correction wegen der Capillarität durch eine einzige Vergleichung des Quecksilberstandes in beiden Scalen anbringen. Bei Heberbarometern ist dieser Fehler bedeutend verringert, wenn die Schenkel in der Nähe der Quecksilberkuppen gleichen Durchmesser haben, da das Quecksilber in beiden Schenkeln dieselbe Depression erleidet. Bei genauen Beobachtungen muss ferner die Temperatur des Quecksilbers im Barometer berücksichtigt werden, welche oft von der Temperatur der äusseren Luft verschieden ist; endlich muss man, zur Vermeidung einer fehlerhaften Bezeichung des Endes der Quecksilbersäule auf die Scala, auf verticale Aufstellung der Scala und für richtige Haltung des Auges bedacht sein. Die aus dem unrichtigen Stande des Auges entspringende Parallelaxe wird durch die Visirvorrichtungen beseitigt. Der ebene Stand eines um die Röhre gelegten verschiebbaren Cylinders wird hierzu am besten benutzt. Mit demselben verbindet man einen sogenannten Nonius oder Vernier, zur Wahrnehmung kleiner Theile der Scala, zuweilen auch eine Lupe. Am sichersten beobachtet man den Stand der Quecksilberkuppe vermittelst einer von W. Weber angegebenen Vorrichtung. Bei derselben befindet sich die Theilung auf der Vorderseite eines Streifens von dickem Spiegelglase, von welchem die Hälfte der Hinterseite mit einem Spiegelamalgam überkleidet ist. Die eine Hälfte des Glasstreifens erscheint demnach, von vorn betrachtet, durchsichtig, die andere als Spiegel. Hinter diesem Glasstreifen befindet sich die Barometerröhre auf die Weise angebracht, dass die Mittellinie desselben genau hinter der Grenzlinie des Spiegels liegt und man daher nur die eine Hälfte der Quecksilbersäule sehen kann. Steht die Scala vertical, so ist der Punkt des Spiegels, von welchem der Beobachter das Bild seines Auges erblickt, genau in der Höhe des Auges selbst. Bemerkt man daher das Auge gerade neben der Quecksilberkuppe, so befindet sich der Beobachter in der richtigen Stellung.

Fig. 86.



Zur genauen Angabe des Barometerstandes ist die Berücksichtigung der Temperatur des Quecksilbers erforderlich; eben so setzt die genaue Construction des Thermometers die Beobachtung des Luftdruckes bei der Bestimmung des Siedepunktes einer Thermometerscala voraus. Daraus folgt, dass eine Beziehung zwischen Barometer und Ther-

mometer stattfindet, und dass die Angaben beider Instrumente von einander abhängen. Zur Construction übereinstimmender Thermometer wählt man die Temperatur des siedenden Wassers bei einem festgesetzten Barometerstande, den man mit dem Namen Normalbarometerstand bezeichnet. Als solchen wendet man gewöhnlich eine Quecksilbersäule von 760 Millimeter bei 0° an. Alle Barometerbeobachtungen reducirt man auf diese letztere Temperatur.

Bei dieser Reduction stützt man sich auf die Beobachtung, dass eine Quecksilbersäule, die man bei 0° C. als Längeneinheit angenommen ha , für jeden Wärmegrad um $\frac{1}{5550}$ wächst. Ist also b die bei t° C. beobachtete, und b′ die auf 0° reducirte Barometerhöhe, so hat man $b' + \frac{b't}{5550} = b$, und daraus annäherungsweise $b' = b - \frac{bt}{5550}$. Bei dieser Formel ist t negativ zu nehmen, je nachdem die Quecksilbersäule in dem Thermometer über oder unter 0° steht.

Als eine eigenthümliche Construction ist noch das Vidi'sche Dosenbarometer oder Aneroïdbarometer zu erwähnen. Dasselbe besteht aus einer ¼ Zoll tiefen Metallbüchse, welche luftleer gemacht und darauf hermetisch verschlossen ist. Der obere Boden ist dünn und seine Beweglichkeit durch concentrisch eingeritzte Kreise noch gesteigert, so dass er bei jeder Aenderung des Luftdruckes eine andere Lage einnimmt. Derselbe drückt auf eine Feder, welche auf einen Zeiger wirkt, der sich auf der Aussenseite der Büchse an einer Theilung herbewegt. Einmal mit dem Normalbarometer verglichen, können die Beobachtungen an demselben durch die am Aneroïdbarometer ersetzt werden. Veränderungen der Temperatur soll ohne merklichen Einfluss auf den Gang dieses Barometers sein. Es ist leicht zu transportiren, da die Büchse nur etwa 4 Zoll im Durchmesser und 1¾ Zoll in der Dicke hat.

Das Mariotte'sche Gesetz.

Das Volumen der Gase verhält sich umgekehrt, wie der Druck, dem sie ausgesetzt sind. Dieser Lehrsatz führt nach seinem Entdecker den Namen des Mariotte'schen Gesetzes.

Man nehme eine heberförmige Barometerröhre, deren längerer Schenkel zugeschmolzen ist. Durch den offenen Schenkel giesse



Fig. 87.

man etwas Quecksilber hinein, dass sein Spiegel aa (Fig. 87) eben die obere Wand des Schenkels berührt, so ist die Luft in ad abgeschlossen; sie hat das specifische Gewicht der äusseren Luft, und ihre Expansivkraft ist durch die Höhe der Quecksilbersäule eines Barometers ausgedrückt. Giesst man hierauf Quecksilber durch den langen Schenkel nach, so steigt dasselbe im kurzen Schenkel und die Luft wird in demselben comprimirt. Fährt man so lange mit dem Nachgiessen fort, bis der Raum, den die Luft in cd einnimmt, nur halb so gross ist, als d, so wird man finden, dass die drückende Quecksilbersäule ce genau so lang ist, als die zeitige Barometerhöhe. Die Luft in cd wird daher von dieser Säule, aber auch vom Drucke der Atmosphäre, welcher dem Drucke einer gleich grossen Saule gleich ist, zusammengepresst, mithin von zwei Atmosphären, aber das specifische Gewicht ist auch das doppelte der vorigen. Giesst man so lange Quecksilber ein, bis $cd = \frac{1}{2} ad$, so ist die drückende Quecksilbersäule doppelt so gross, als die Barometerhöhe, die Luft in cd wird 3 Atmosphären zusammengedrückt, aber sie ist auch dreimal so dicht, als sie es anfänglich war. Arago und Dulong haben die Wahrheit des Mariotte'schen Gesetzes für atmosphärische Luft bis zu einem Drucke von 27 Atmosphären bestätigt.

Ist also der Druck, welchem ein Gas ausgesetzt ist, gleich

1	Atmosphäre,	so ist sein	Volumen gleich	1.
2	„	„	„	$\frac{1}{2}$.
4	„	„	„	$\frac{1}{4}$.
$\frac{1}{2}$	„	„	„	2.
$\frac{1}{4}$	„	„	„	4.

Um das Mariotte'sche Gesetz auch für einen Druck, der weniger als eine Atmosphäre beträgt, zu bewahrheiten, bedient man sich des folgenden Apparates. Man füllt eine Barometerröhre so weit mit Quecksilber an, dass darin noch ungefähr 10 Kubikcentimeter Luft bleiben, verschliesst ihr offenes Ende mit dem Finger, taucht dann das untere Ende in ein cylindrisches, mit Quecksilber

Fig. 88. angefülltes Gefäs *a* (Fig. 88) und zieht den Finger hinweg. Taucht man die Röhre so weit in das Gefäss ein, dass das Niveau des Quecksilbers in beiden Gefässen gleich ist, so steht die Luft in der Röhre unter dem Drucke einer Atmosphäre. Hebt man aber die Röhre, so fällt das Quecksilber in derselben und die Luft nimmt einen doppelten, drei-, vierfachen u. s. w. Raum ein. Ist das Volumen derselben das Dreifache von dem vorigen, so steht die Luft unter dem Drucke von $\frac{1}{3}$ Atmosphäre.

a

Das Mariotte'sche Gesetz gilt indessen nicht für jeden Grad der Verdünnung und Verdich ung, weil daraus eine unendliche Höhe der Atmosphäre folgen müsste. Versuche haben gezeigt, dass dieses Gesetz nicht mehr anwendbar ist bei einer mehr als 112maligen Verdünnung und bei einer mehr als 30maligenVerdichtung der Luft. Ferner folgen gewisse Gase zwar in Bezug auf Verdünnung und Verdichtung dem Mariotte'schen Gesetze, erleiden aber eine beträchtliche Veränderung, wenn der Druck gewisse Grenzen überschreitet; sie werden nämlich tropfbarflüssig und sind als tropfbare Flüssigkeit fast nicht mehr compressibel.

Solche Gase, die nur bis zu einer gewissen Grenze dem Mariotteschen Gesetze folgen, und durch höheren Druck in tropfbare Körper übergehen, nennt man coërcible Gase, zum Unterschiede von den permanenten, unter allen Umständen gasförmigen.

Einige der Gase, die durch Druck flüssig werden, sind:

Schweflige Säure	bei	2	Atmosphären,
Cyan	„	$3\frac{1}{2}$	„
Chlor	„	4	„
Ammoniakgas	„	$6\frac{1}{2}$	„
Schwefelwasserstoffgas	„	17	„
Kohlensäure	„	36	„
Chlorwasserstoffsäure	„	40	„
Stickstoffoxydul	„	25	„

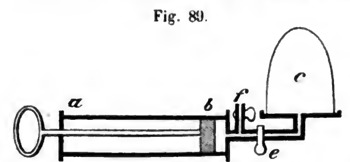
Wir haben gesehen, dass sich das Volumen eines Gases durch Druck vermindern, oder durch Verminderung des Druckes vermehren lässt; ebenso haben wir gesehen, dass die Höhe einer Flüssigkeitssäule im leeren Raume abhängig ist von ihrem specifischen Gewichte. Auf das letztere Princip ist ein Apparat zur Bestimmung des specifischen Gewichtes von Flüssigkeiten basirt, der unter dem Namen des Hydrometers von Alexander bekannt, und seiner Zweckmässigkeit wegen sehr zu empfehlen ist. Dieser Apparat besteht aus zwei parallelen graduirten Glasröhren, die oben unter sich und mit einer kleinen Luftpumpe communiciren; die eine Glasröhre wird in Wasser, die andere in die zu unter-

suchende Flüssigkeit getaucht, die Luft in den Röhren vermittelst der Luftpumpe etwas verdünnt, die Höhen bestimmt, bis zu welchen sich das Wasser und die andere Flüssigkeit erheben, und durch Vergleichung dieser Höhen wird das Verhältniss der specifischen Gewichte gefunden.

Verschiedene Gase äussern bei gleichen specifischen Gewichten und gleichen Temperaturen verschiedene Spannkräfte. Daraus folgt der Begriff der specifischen Expansivkraft, im Gegensatze zu der absoluten, welche bei verschiedenen Dichten und verschiedenen Temperaturen stattfindet. Man schreibt die Ursache dieser specifischen Expansivkraft einer Abstossungskraft zu und sagt, dass den Gasen um so grössere specifische Expansivkräfte zugeschrieben werden müssen, einem je grösseren äusseren Druck sie bei gleicher Dichte und Temperatur das Gleichgewicht zu halten vermögen. Durch Erwärmung der Gase wird ihre specifische Expansivkraft vermehrt, durch Abkühlung vermindert.

Die Luftpumpe. Es giebt Instrumente, mit deren Hülfe man aus einem abgeschlossenen Raume Luft entfernen, oder zu der in einem solchen Raume bereits vorhandenen Luft eine neue Quantität hinzufügen, oder mit anderen Worten, mit deren Hülfe man aus einem Raume die Luft verdichten oder verdünnen kann. Diese Instrumente beruhen auf der Ausdehnsamkeit der Luft. Um von der Einrichtung und Wirkung einer Luftpumpe im Allgemeinen eine Vorstellung zu bekommen, wird es am besten sein, einen ganz einfachen Apparat zu beschreiben, wie ihn die nebenstehende Zeichnung (Fig. 89) darstellt. Ein hohler Cylinder *ab*, der Stiefel genannt, hat einen durchbohrten Boden, und setzt von da

Fig. 89.



in einer engen Röhre fort, welche rechtwinklig gebogen ist und mit einer horizontalen, eben geschliffenen runden Platte von Glas oder Messing (dem Teller) endigt. Auf dieser Platte befindet sich eine unten eben abgeschliffene Glasglocke *c* (der Recipient), die unten am Rande mit Talg bestrichen ist, damit sie auf dem Teller luftdicht schliesse. Die enge Röhre ist mit einem durchbohrten Hahne *e* versehen, näher am Stiefel geht von ihr eine zweite Röhre rechtwinklig ab, welche ebenfalls mittelst eines durchbohrten Hahnes *f*

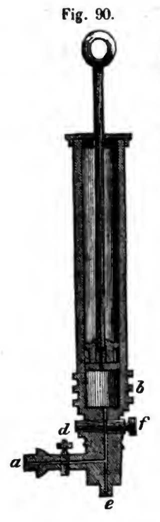
geschlossen werden kann. In dem Stiefel lässt sich ein gut schliessender Kolben hin- und herschieben. Man nehme nun an, der Kolben befinde sich an der Bodenplatte *b*, man bringe nun erst den Recipienten auf den Teller, öffne den Hahn *e* und schliesse *f*, so ist die Luft im Recipienten abgeschlossen und hat die Dichte der äusseren Luft. Zieht man nun den Kolben zurück bis zur Deckplatte *a*, so schiebt er die Luft vor sich her und diese entweicht aus der Oeffnung neben der Kolbenstange. Die Luft im Recipienten ergiesst sich dagegen in den Stiefel, füllt nun den ganzen Raum aus, hat sich ausgedehnt und ist daher dünner als vorher. Man schliesse nun *e* und öffne *f*; dadurch geht Luft durch *f* in den Stiefel, die man aber wieder hinaustreibt, wenn man den Kolben bis zur Bodenplatte *b* zurücktreibt. Im Recipienten ist die Luft so dünn geblieben, als sie war. Darauf beginnt die Operation von neuem, *f* wird geschlossen und nachher *e* geöffnet. Beim Heraufziehen des Kolbens wird die schon verdünnte Luft abermals verdünnt u. s. w. Je länger man das Pumpen fortsetzt, um so dünner wird die Luft in dem Recipienten.

Man sollte meinen, es müsste möglich sein, mit einer solchen Pumpe die Luft auf jeden beliebigen Grad der Verdünnung zu bringen, obgleich die ursprüngliche Luftmenge nie auf Null reducirt werden kann. Allein dies ist nicht der Fall, und selbst bei einer guten Luftpumpe wird man die Dichte nicht viel über $\frac{1}{200}$ bringen. Theils liegt dies daran, dass die Luft von aussen her um so stärker auf den Recipienten drückt, je stärker sie inwendig verdünnt ist, und dass es ihr daher bei grosser Verdünnung gelingt, sich, wenn auch nur langsam zwischen Glocke und Teller einzuschleichen, theils ist auch der folgende Grund vorhanden: Zwischen dem Kolben und der Absperrung des Stiefels bleibt nämlich stets ein kleiner Raum übrig, welcher durch den Kolben nicht ausgefüllt wird. Dieser Raum beschränkt den durch die Luftpumpe erreichbaren Grad der Verdünnung und Verdichtung der Luft um so mehr, je grösser sein Volumen im Vergleiche mit dem Rauminhalte des Stiefels ist. Diesen Raum zwischen *e f b* (Fig. 89) nennt man den schädlichen Raum, und es ist von jeher das Bestreben der Physiker gewesen, ihn auf ein Minimum zurückzuführen.

Je nach der Vorrichtung, um den Stiefel einmal mit dem Recipienten, ein andermal mit der äusseren Luft in Bewegung setzen zu können, unterscheidet man Hahn- und Ventil-Luftpumpen. Wir beschreiben im Folgenden einige Luftpumpenconstructionen, die vorzugsweise im Gebrauche sind.

Gay-Lussac's Handluftpumpe wird besonders in chemischen Laboratorien gebraucht. Von dem unteren Ende des Cylinders geht ein Canal vertical herunter bis zu dem Canale *a b*

Fig. 90.



(Fig. 90). Der Hahn bei *d* sei geschlossen, bei *a* aber der Recipient eingeschraubt, der luftleer gemacht werden soll, so wird beim Aufziehen des Kolbens ein Theil der Luft durch den Canal in den Cylinder treten und beim Niederdrücken durch das Kolbenventil entweichen; mittelst einer Schraube wird die Luftpumpe auf einen Tisch aufgeschraubt. Der Hahn *f* wird entbehrlich, wenn ein zweites Ventil da angebracht ist, wo der nach dem Cylinder führende Canal in den Cylinder mündet.

Bei einem Kolbenventile besteht der untere Theil des Kolbens aus einer Messingplatte mit einer Schraube *a* (Fig. 91), welche der Länge nach durchbohrt ist; oben wird ein Stück Taffet aufgebunden, welches die Oeffnung *o* bedeckt. In dem Messingstück befindet sich eine Oeffnung *b*. Wird der Kolben aufgezogen, so drückt die Luft im oberen Theile des Cylinders durch die Oeffnung *b* auf den Taffet und presst sie gegen die Oeffnung *o*; der Kolben wirkt also beim Aufziehen wie ein massiver. Wird der Kolben wieder niedergedrückt, so wird die Luft im unteren Theile des Cylinders comprimirt, hebt das Ventil bei *o* und entweicht durch die Oeffnung *b* im oberen Theile des Cylinders.

Fig. 91.

Um den Grad der Luftverdünnung zu ermitteln, bedient man sich der sogenannten Barometerprobe. Vermittelst des Hahnes *f* (Fig. 90) verbindet man eine rechtwinklig gebogene Glasröhre, deren verticales Ende 30 Zoll lang ist, mit der Luftpumpe und einem Gefässe voll Quecksilber. Oeffnet man den Hahn, so muss das Quecksilber in die Röhre steigen, und zwar um so mehr, je bedeutender die Luftverdünnung ist. Wäre es möglich, durch die Luftpumpe einen absolut leeren Raum zu erzeugen, so müsste die Quecksilbersäule in der Röhre gleich der zeitigen Barometerhöhe sein. Eine andere, und zwar die gebräuchlichste Barometerprobe besteht aus einer heberförmig gebogenen Glasröhre mit gleich langen parallelen Schenkeln, jeder ungefähr 8 Zoll lang, deren einer zugeschmolzen ist. Dieser wird wie ein Barometer mit Quecksilber gefüllt, so dass letzteres in den offenen Schenkel nur ein wenig hineintritt; der ganze Apparat wird auf einer Glasplatte befestigt, die unten einen Fuss hat, auf welchem sie aufrecht steht und

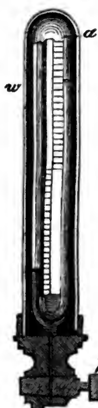


Fig. 92.

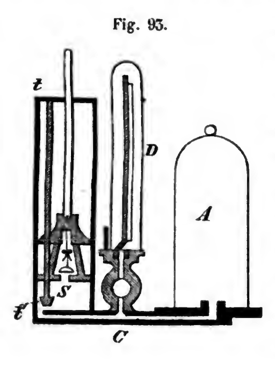
welche neben den Schenkeln eine Eintheilung hat. Dieses Instrument setzt man entweder unter den Recipienten, oder man bringt es in ein weites, oben geschlossenes, unten mit einer messingenen Fassung verschlossenes Glasrohr *w* (Fig. 92), das durch den Hahn *p* in und ausser Verbindung mit dem Canal gesetzt werden kann.

Fängt man an zu pumpen, so vermindert sich der Druck der Luft auf das Quecksilber im offenen Schenkel immer mehr, je dünner die Luft wird; das Quecksilber steigt daher im offenen Schenkel und fällt im verschlossenen. Der Unterschied zwischen beiden, an der Scala abgelesen, giebt die Höhe der Quecksilbersäule an, welche die Luft zu tragen im Stande ist, also ihre Expansivkraft, welche eben so wie ihre Dichtigkeit abnimmt.

Wäre diese Höhe = 1 Zoll, während das freie Barometer 28 Zoll zeigt (= B), so ist die Dichtigkeit $\frac{1}{28}$ der äusseren; wäre jene eine Linie, so wäre diese $\frac{1}{336}$; ist überhaupt der Unterschied der beiden Quecksilbersäulen = b, so ist die Dichtigkeit der Luft im Recipienten = $\frac{b}{B}$ der äusseren Luft.

Bei der einstiefligen Ventil-Luftpumpe (Fig. 93) wird die Communication zwischen dem Stiefel und dem Recipienten mittelst eines kleinen Kegels *t* bewerkstelligt. Der Kolben ist von unten her in der Mitte erst cylindrisch, dann nach oben kegelförmig ausgehöhlt, und öffnet sich nach oben, wo die Oeffnung von einem angesetzten Stücke überbrückt ist, an welchen sich die Kolbenstange befestigt befindet. In der weiten cylindrischen Höhlung befindet sich ein Ventil *S*, eine sogenannte *T*-Klappe, die mit ihrer unteren Fläche auf einem dünnen, hervorspringenden Rande der unteren Kolfläche aufliegt, und deren Stiel von einem durch Bügel gehaltenen durchbohrten Stege gelenkt wird. Unfern vom Rande ist der Kolben noch einmal von unten nach oben durchbohrt.

Fig. 93.



Dieses Loch durchsetzt ein platter Draht tt', der sich darin mit einiger Reibung hin- und herschieben lässt. Dieser Draht trägt an seinem unteren Ende einen kleinen Metallkegel t', der genau in eine darunter befindliche Höhlung des Bodens passt und sie oben ausfüllt. Oben ist der Cylinder so weit bedeckt, dass er die Kolbenstange durchlässt. Wird nun der Kolben zurückgezogen, so nimmt derselbe durch Reibung die Stange tt' mit und öffnet das Ventil, sehr bald aber stösst die Stange gegen den Deckel des Kolbens und bleibt stehen, während der Kolben sich an derselben hinaufbewegt. Sowie aber der Kolben abwärts drückt, nimmt er die Stange durch Reibung mit, der Kegel schliesst die Oeffnung, der Draht bleibt stehen, und der Kolben gleitet am Drahte herunter. Die Luft im Stiefel wird zusammengepresst, kann aber nicht in den Recipienten gelangen, wohl aber öffnet sie sich durch ihren Widerstand das Ventil S und entweicht durch den Kolben, bis dieser wieder den Boden erreicht hat. Die Verdünnung kann so lange fortschreiten, bis die Luft beim Herabgehen des Kolbens das Ventil S nicht mehr zu heben vermag. Auf dem Rohre C, welches zum Recipienten A führt, bringt man zweckmässig eine Barometerprobe D an. Die nach dem eben beschriebenen Principe construirte Luftpumpe heisst eine Fortin'sche.

Durch einen sinnreich construirten Hahn hat Babinet die Wirkung des schädlichen Raumes noch vermindert. Fig. 94 zeigt die Beschaffenheit der metallenen Grundplatte im Grundrisse, auf welcher die Cylinder B und A stehen, so wie die Lage des Hahnes fd; der Canal führt vom Ende des Hahnes bei d zum Teller und Recipienten, wo er sich in o öffnet. Bei m geht ein Canal nach der Barometerprobe. In der Grundplatte der Cylinder B und A ist ein Canal in drei Seiten eines Vierecks $uxki$ eingebohrt, auf den Platten sieht man nur die Löcher $u\,x\,k$, welche bis zum Canal hinunter reichen und wovon die ersteren beiden eine kegelförmige Versenkung bilden und die beiden Ventilkegel aufnehmen. Zwischen x und k ist keine directe Verbindung vorhanden. Der Canal wird durch den kegelförmigen Babinet'schen Hahn unter-

Fig. 94.

brochen, der horizontal liegt und sich um seine Axe drehen lässt. Wo ihn die Canäle treffen, ist er auf eigenthümliche Weise durchbohrt. Fig. 95 giebt den Durchschnitt durch seine Axe, parallel mit den Hebeln des Griffes. Bei *f* ist er gerade durchbrochen, und die daneben stehende Figur ist ein Quadratdurchschnitt des Hahnes und zeigt das Loch *fg*; *b a* ist eine Durchbohrung, rechtwinklig gegen die vorige. In der Mitte zwischen beiden, bei *c*, geht ein Loch bis *b a* hinab, und von *c* bis *d* ist der Hahn in der Richtung der Axe durchbohrt. Die daneben befindliche Figur zeigt einen Quadratdurchschnitt durch *b a*. Bei *d* setzt der Canal nach dem Recipienten hin fort. Wird der Hahn um 90° gedreht, und dann horizontal längs der Axe durchschnitten, so zeigt Fig. 96 den Durchschnitt. Die Buchstaben stimmen mit den vorigen überein. — Sitzt der Kolben im Stiefel *A* (Fig. 94) auf dem Boden, so befindet sich im schädlichen Raume noch etwas Luft von der Dichtigkeit der Atmosphäre. Beim Aufziehen des Kolbens kommt *A* mit *B* in Verbindung, während *B* durch den Verschluss des Bodenventils vom Recipienten abgeschlossen wird. Durch das Aufziehen des Kolbens in dem Cylinder *A* verbreitet sich nun nicht allein die Luft im schädlichen Raume dieses Kolbens in den Cylinderraum *A*, sondern es wird auch noch die sämmtliche Luft in *B* während des gleichzeitigen Niederganges des Kolbens in *B* nach *A* getrieben. Geht nun der Kolben in *A* wieder abwärts, so schliesst sich das Bodenventil und es öffnet sich das Kolbenventil, durch das die aufgenommene Luft wieder entweicht. Die in dem schädlichen Raume von *B* zurückgebliebene Luft ist aber jetzt bei weitem dünner als die atmosphärische, und kann auf gleiche Weise noch weiter verdünnt werden.

Fig. 95.

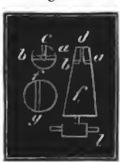
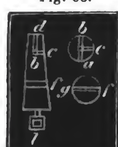


Fig. 96.



Ein gleiches Resultat wird mit dem von Grassmann erdachten Hahne erreicht, welcher aber sogleich beim Beginnen des Auspumpens in Thätigkeit ist, indem beide Stiefel abwechselnd zur Verdünnung beitragen.

In der neueren Zeit giebt man ziemlich allgemein den Hahn-Luftpumpen einen Vorzug vor den Ventil-Luftpumpen, weil in den letzteren gewöhnlich die Verdünnung eine Grenze findet, sobald die Luft das Ventil im Kolben nicht mehr zu heben vermag. Dieser behauptete Vorzug ist aber mehr ein eingebildeter als ein wirklicher, und bei gleich guter Arbeit dürfte eine vor der anderen kaum wesentliche Vorzüge zeigen.

Wenn in einem hohlen Körper die Luft eben so dicht ist, als die äussere, was bei ungehinderter Communication stets der Fall ist,

so hat die innere Luft stets dieselbe Expansivkraft, als die äussere, und der Druck der äusseren Luft auf die Wände des Gefässes ist gleich dem inneren Druck auf dieselben. Alle Experimente mit der Luftpumpe können daher nichts Anderes zeigen, als dass die Expansivkraft der verdünnten Luft geringer ist, als die der unverdünnten. Eine grosse Menge der mit der Luftpumpe angestellten Versuche gehört in das Reich der Spielereien, weil sie immer dasselbe beweisen.

Einige der Versuche, die den Druck der Luft darthun, sind folgende: Wenn man eine zugebundene schlaffe Thierblase, die nur wenig Luft enthält, unter den Recipienten einer Luftpumpe bringt, so schwillt die Blase an, wenn man die Luft verdünnt. Lässt man wieder Luft in den Recipienten treten, so schrumpft die Blase wieder zusammen. Werden zwei Halbkugeln von Messing genau mit ihren Rändern auf einander abgeschliffen, so haften dieselben, wenn das Innere von der Luft befreit wird, mit einer sehr grossen Kraft zusammen. Diese Halbkugeln sind unter dem Namen der Guerike'schen oder der Magdeburger Halbkugeln bekannt. Stellt man einen Heronsball unter den Recipienten, so beginnt das Wasser beim Verdünnen mit Heftigkeit hervor zu sprudeln, weil der Luftdruck im Innern der Flasche grösser ist, als ausserhalb. Bringt man ein dünnes, mit einem Kork verschlossenes Glas unter den Recipienten, so wird beim Verdünnen entweder der Kork aus der Flasche geschleudert, oder das Glas zersprengt. Vermittelst der Luftpumpe kann man ferner zeigen, dass brennende Körper im luftverdünnten Raume verlöschen, Thiere darin sterben; unter dem Recipienten lässt sich kaltes Wasser zum Kochen bringen. Im luftleeren Raume kann man endlich den Satz bestätigen, dass alle Körper gleich schnell fallen.

Die Compressionspumpe. Um die Luft in einem Raume zu verdichten, bedient man sich der Compressionspumpe, die sich von der Luftpumpe dadurch unterscheidet, dass sich die Hähne oder Ventile nach entgegengesetzter Richtung hin öffnen und schliessen. Die verdichtete Luft bleibt entweder in einem begrenzten Raume, oder wird während des Experimentes weiter geführt; im letzteren Falle nennt man die Compressionspumpen Gebläse, von welchen weiter unten ausführlich die Rede sein wird. Man unterscheidet Compressionspumpen 1) mit Hähnen, 2) mit Ventilen, 3) ohne Hähne und Ventile. Jede gewöhnliche Luftpumpe mit Hähnen wird zu einer Verdichtungspumpe, sowie man den Hahn in umgekehrter Richtung dreht, denn in diesem Falle ergiesst sich die Luft nicht aus dem Recipienten in den Stiefel, sondern die Luft wird aus dem mit der Atmosphäre in Verbindung stehenden Stiefel in den Recipienten gepumpt. Damit der letztere nicht gehoben werde, muss er durch äussere Bänder an den Teller angeschraubt werden, wobei jedoch die Gefahr des

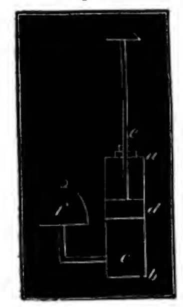


Fig. 97.

Zerschmetterns noch nicht abgewendet ist. Eine einfache Compressionspumpe mit Ventilen ist folgende (Fig. 97): *ab* ist eine messingene Röhre, die aber bei *a* geschlossen ist und sich unten in eine Schraube endigt, mit der sie auf den Hals des Gefässes aufgeschraubt wird, in dem die Luft verdichtet werden soll. Diese Schraube ist der Länge nach durchbohrt und unten mit einem Blasenventile versehen, das sich nach aussen öffnet; *c* ist der genau schliessende Kolben, dessen Kolbenstange *d* durch die Deckplatte hindurch geht und mit einem Griffe *e* versehen ist; bei *f*, unterhalb des Kolbens, sind ein paar Löcher in das Rohr gebohrt. Drückt man nun den Kolben abwärts, so treibt er die Luft vor sich her, und diese entweicht durch das Ventil *b* in das darunter befindliche Gefäss. Beim Herausziehen des Kolbens kann die verdichtete Luft nicht entweichen, weil sie das Ventil *b* verschliesst. Bei Wiederholung des Nieder- und Aufgehens des Kolbens schreitet die Verdichtung ganz nach derselben Reihe fort, wie die für die Verdünnung rückwärts gelesen. Durch eine ähnliche Pumpe verdichtet man die Luft in der Windbüchse.

Die Windbüchse besteht aus einem starken, luftdichten Gefässe aus Schmiedeeisen oder Kupfer (der sogenannten Flasche), das mit einer von innen nach aussen schliessenden Klappe, und oberhalb dieser mit einem Schraubengewinde versehen ist, worin man einen mit einen Schlosse versehenen Flintenlauf anschraubt. Wenn die Flasche verdichtete Luft und der Lauf eine Kugel enthält, und es wird durch einen Stoss vom Laufe her die Klappe geöffnet, darauf aber sogleich wieder verschlossen, so wird die Kugel aus dem Laufe hinaus getrieben. Die in der Flasche enthaltene comprimirte Luft ist für eine grössere Anzahl von Schüssen hinreichend.

Fig. 98.



Ohne Hähne und Ventile ist streng genommen keine Luftpumpe denkbar; wol aber lassen sich erstere durch einige andere Mittel vertreten, und man erhält auf diese Weise die einfachsten aller Luftpumpen. Hierher gehört die Luftpumpe von Ritchie (Fig. 98). *ab* ist ein metallener Stiefel mit einem massiven Kolben *d*, dessen Stange bei *e* durch eine Stopfbüchse geht. Bei *e* befindet sich ein Loch im

Deckel. Bei *c* geht ein aufwärts gebogenes Rohr nach dem Teller und Recipienten *f*. Zieht man den Kolben aufwärts, so drückt dieser die Luft vor sich her und diese entweicht bei *e*. Unter dem Kolben bildet sich ein luftleerer Raum, in welchen sich die Luft aus dem Recipienten ergiesst. Ist der Kolben oben angelangt, so hält man das Loch bei *e* mit dem Finger dicht verschlossen, und stösst den Kolben wieder bis auf den Boden hinab. Dadurch drückt sich die Luft wieder auf den vorigen Raum zusammen, ergiesst sich aber sogleich über den Stiefel, und ist so ausgedehnt wie zuvor. Jetzt hebt man den Kolben ungefähr um seine Dicke in die Höhe und zieht den Finger vom Loche bei *e* weg. Die über dem Kolben befindliche Luft wird dadurch hinaus geschafft, die unter dem Kolbeu dehnt sich aus. Mit dieser Luftpumpe kann man die Verdünnung weit treiben.

Der Druck der Luft auf den thierischen Organismus. Der thierische Organismus ist wie jeder andere Körper dem Druck der atmosphärischen Luft ausgesetzt. Nimmt man an, dass der Druck der Atmosphäre auf jeden Quadratzoll ungefähr fünfzehn Pfund beträgt, so ergiebt sich, da ein erwachsener Mensch fünfzehn Quadratfuss Oberfläche hat, das Gewicht von 32400 Pfund, das ein erwachsener Mensch auszuhalten hat. Dieser Druck ist aber unter den gewöhnlichen Bedingungen nicht bemerkbar, da derselbe auf allen Seiten gleichförmig einwirkt, und die Luft innerhalb des Körpers mit der äusseren gleichen Druck hat.

In der Mechanik des menschlichen Körpers nimmt der Luftdruck eine bedeutende Stellung ein. Das Gewicht eines Beines z. B., welches so gekrümmt wird, dass es hängt, ohne den Boden zu berühren, wird von dem Drucke der Luft getragen, den die atmosphärische Luft von oben nach unten ausübt; es ist daher keine Kraft erforderlich, um während des Gehens das gehobene Bein zu tragen. Es befindet sich nämlich in dem Becken eine platte, schlüpfrige Vertiefung, die Pfanne, in welche der Schenkelknopf des Beines luftdicht passt. Wenn der Luftdruck von oben nach unten gegen das schwebende Bein wirkt, so wird dasselbe zurückgehalten.

Bestimmung des specifischen Gewichtes der Luft und anderer Gase. Das specifische Gewicht der Luft lässt sich vermittelst der Luftpumpe finden. Man nimmt zu diesem Zwecke einen zweiarmigen Ballon von Glas, der vermittelst eines Hahnes verschlossen werden kann, füllt ihn mit Luft und wägt ihn ab; nachdem man die Luft vermittelst der Luftpumpe bestimmt hat, wägt man ihn wieder. Die Differenz der erhaltenen Gewichte giebt das Gewicht der atmosphärischen Luft unter dem Volumen des Ballons bei der herrschenden Spannkraft und Temperatur. Wenn

man dieses Gewicht durch das innere Volumen des Ballons dividirt, so erhält man das specifische Gewicht der Luft. Um das Volumen (die Capacität) des Ballons zu erfahren, füllt man denselben mit Wasser und leert dies in eine graduirte Glocke oder Röhre aus. Wenn man die erhaltenen Resultate mit dem specifischen Gewichte des Wassers vergleicht, so findet man, dass die Luft bei einem Barometerstande von 760 Millimetern und 0° Temperatur 770 mal leichter als Wasser ist. Man ist daher übereingekommen, bei Bestimmung des specifischen Gewichtes von Gasen das der atmosphärischen Luft als Einheit anzunehmen, obgleich es für wissenschaftliche Zwecke vortheilhaft ist, dafür das des Sauerstoffs zu setzen. Tausend Kubikcentimeter (= einem Liter) Luft wiegen bei 0° und 760 Millimetern Barometerstand 1,299 Gramme.

Bei der Bestimmung des specifischen Gewichtes der Gase verfährt man auf ähnliche Weise. Man suche das Volumen des Ballons, das Gewicht des luftleeren Ballons, das Gewicht des mit dem Gase angefüllten Ballons, man bestimme die Temperatur und den Barometerstand, so hat man alle Bedingungen zur specifischen Gewichtsbestimmung erfüllt.

Beispiel. Man habe das specifische Gewicht von trockner Kohlensäure zu bestimmen; das Volumen des Ballons = 560 Kubikcentimeter,
das Gewicht des luftleeren Ballons = 48,5 Gramme,
das Gewicht des mit Kohlensäure angefüllten Ballons = 49,514 Gramme.
die Temperatur = 20° C.
der Barometerstand = 27 Zoll 6 Linien.
so wiegen 560 Kubikcentimeter Kohlensäuregas bei der angegebenen Temperatur und dem Barometerstande 1,014 Gramme. Diese 560 Kubikcentimeter entsprechen aber 512 Kubikcentimetern bei 0° und 760 Millimetern. 1000 Kubikcentimeter wiegen daher bei 0° und 760 Millimeter Barometerstand 1,976 Gramme, und das specifische Gewicht der Kohlensäure ist demnach $\frac{1,967}{1,299} = 1,524$.

Nachstehende Tabelle enthält die specifischen Gewichte einiger Gase bei 0° und 760 Millimetern Barometerstand:

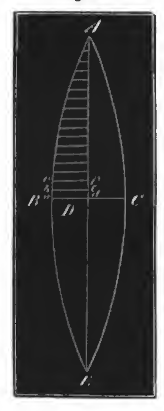
Name des Gases.	Specifisches Gewicht.	Name des Gases.	Specifisches Gewicht.
Sauerstoff	1.1026	Kohlenoxydgas	0,9706
Stickstoff	0,9760	Chlor	2,4700
Wasserstoff	0,0688	Ammoniak	0,5966
Kohlensäure	1,5240	Leuchtgas	0,9710

Gewichtsverlust der Körper in der Luft. Eben so wie ein Körper, den man in eine Flüssigkeit taucht, so viel von

seinem absoluten Gewichte verliert, als die von ihm verdrängte Flüssigkeitsmenge wiegt, eben so erfährt auch ein Körper in einem Gase einen um das Gewicht des verdrängten Gasquantums grösseren Druck nach aufwärts oder nach abwärts; daraus folgt, dass man, um das wirkliche Gewicht eines Körpers zu erhalten, zu dessen durch Abwägen in der Luft erhaltenen scheinbaren Gewicht noch das Gewicht der von ihm verdrängten Luftmasse addiren müsse. Eine in der Luft angestellte Wägung ist daher um so weniger richtig, je grösser das Volumen dieses Körpers und je dichter die ihn umgebende Luft ist. Um daher vollkommen richtige Resultate zu erhalten, muss man jede Wägung auf den leeren Raum reduciren, obgleich bei Wägungen kleiner Körper wegen der Kleinheit der verdrängten Luftmasse diese Correction in der Regel unterlassen wird.

Dass ein Körper in der Luft von seinem Gewichte verliert, kann dadurch nachgewiesen werden: Man bringt einen kleinen empfindlichen Wagebalken, woran sich eine hohle, zugeschmolzene, sehr leichte Glaskugel von 2—3 Zoll Durchmesser und ein an dem anderen Ende aufgehängter Metallkörper das Gleichgewicht halten, unter den Recipienten einer Luftpumpe und verdünnt die Luft darin. Die Kugel wird desto mehr sinken, je weiter die Verdünnung getrieben wird.

Fig. 99.



Aus dem Vorstehenden erklärt sich das Aufsteigen der Wolken und des Rauches, der warmen Luft in kalter und das Steigen der Luftballons.

Ein Luftballon (Aërostat) besteht im Wesentlichen aus einer sehr leichten, dichten Hülle, die mit Gas gefüllt ist, das, obgleich von derselben Expansivkraft wie die atmosphärische Luft, doch specifisch leichter ist als diese, so dass das Gewicht P der Hülle mit dem darin enthaltenen Gase weniger beträgt, als das Gewicht Q eines gleichen Volumens atmosphärischer Luft. — Der Ballon wird aus luftdichtem Taffet auf folgende Weise construirt: Man mache *AE* (Fig. 99), die Länge eines Streifens, gleich dem halben Umfange der Kugel, *BC*, die Breite, ist derselbe proportionale Theil des Umfanges, als die Zahl der Steifen, welche zur Kugel erforderlich sind. Die Linien zwischen *BD* und *A*, in gleichen Entfernungen vom Mittelpunkte, geben die Breiten des halben Streifens an, und wenn BD = 1 gesetzt wird, so sind die Linien *ad*, *be*, *cf* u. s. w. nach der dabei angege-

benen Länge in $\frac{1}{100000}$ aufzutragen. Zieht man durch die gefundenen Endpunkte eine Curve, so erhält man ein genaues Muster *BDA* für die anderen drei Theile des Streifens, und wenn die erforderliche Anzahl derselben, welche selten über 30 steigt, ausgeschnitten ist, und dabei Ränder für die Näthe gelassen sind, so geben sie bei ihrer Aneinandersetzung die Kugelform, welche bei allen Ballons die passendste ist.

Kleine Luftballons (von 5—20 Kubikfuss Inhalt) macht man aus Papier oder dem Gewebe der Weberraupe (*Tinea euonymella*). Zu kleinen Versuchen wendet man entweder Seifenblasen, oder Blasen einer Mischung von Colophonium und Leinöl, oder kleine Luftballons von Goldschlägerhäutchen, oder am besten kleine Ballons von Collodium an; letztere verfertigt man sich dadurch, dass man in einem Glasballon etwas Collodium (eine Lösung von Schiessbaumwolle in Aether) giesst, dieselbe in dem Ballon hin und herschwenkt, damit alle Wände gleichmässig überzogen werden, durch öftere Erneuerung der Luft vermittelst eines Blasebalges die Schicht trocknet, und dann den fertigen Ballon von den Glaswänden vorsichtig loslöst.

Man unterscheidet bei den Luftballons Montgolfièren und Charlièren. Bei den Mongolfièren ertheilt man dem Ballon dadurch Steigkraft, dass man dieselben unten offen lässt und die atmosphärische Luft mittelst eines unter der Oeffnung angebrachten Feuers verdünnt. Bei den Charlièren hingegen wird die Hülle mit Wasserstoffgas gefüllt. In der neueren Zeit bediente sich Green zum Füllen der Luftballons des wohlfeilern, obgleich etwas schwerern Steinkohlengases. Die Charlièren sind die gebräuchlichsten Luftballons; am oberen Theile der Hülle ist eine mit einem Faden verschlossene Klappe angebracht, welche der Luftschiffer mittelst eines Seiles, das bis in die Gondel reicht, öffnen kann.

Zur Bereitung des Wasserstoffgases im Grossen wendet man verdünnte Schwefelsäure und Zink, oder anstatt des letzteren vortheilhaft Eisen an (SO_3, $HO + Zn = ZnO$, $SO_3 + H$). Man rechnet auf einen Kubikfuss Gas 8 Loth Eisenfeilspäne, 12 Loth Schwefelsäure und 36 Loth Wasser; oder 12 Loth Zink, 12 Loth Schwefelsäure und 60 Loth Wasser.

Diejenige Lehre, welche es mit der Bestimmung der Steigkraft, d. h. derjenigen Kraft, mit der der Ballon aufsteigt, und mit der Bestimmung der Geschwindigkeit des Aufsteigens und der Höhe, bis zu welcher der Ballon gelangt, zu thun hat, heisst die Aëronautik. Die Steigkraft eines Ballons oder das Uebergewicht einer Luftmasse von gleichem Volumen über sein Totalgewicht lässt sich in der Regel nur annähernd bestimmen, da die Hülle keine vollkommen regelmässige Form besitzt. Nennt man

den körperlichen Inhalt des Ballons in Kubikfussen a, das Gewicht eines Kubikfusses atmosphärischer Luft b, das eines Kubikfusses der erwärmten Luft oder des leichten Gases, das zur Prüfung benutzt worden ist, c, das Gewicht der Hülle und der ganzen Belastung p, und bezeichnet man die Steigkraft mit f, so ist

$$f = ab - (p + ac) = a(b - c) - p.$$

Giebt dieser Ausdruck einen negativen Werth, so sinkt der Ballon; ist $f = 0$, so schwebt er im Gleichgewichte, und ist f positiv, so steigt er mit dem relativen Gewichte in die Höhe. Da die Gestalt eines Aërostaten sich im Allgemeinen der Kugel nähert, so wählt man diese zur Berechnung. Ist D der Durchmesser, π das Verhältniss des Durchmessers zum Umfange (1 : 3,1415926), die Kugeloberfläche πD^2, so ist das Volumen des Ballons

$$\frac{\pi D^3}{6}.$$

Die Steigkraft wächst mit zunehmender Grösse des Ballons.

Das zur Füllung der Charlièren dienende Wasserstoffgas ist unrein und nur 7—8 mal leichter als die atmosphärische Luft.

Eine mit diesem Wasserstoffgas gefüllte Kugel von einem Fuss Durchmesser hat eine Steigkraft von $^1/_{20}$ Pfund, und wenn man einen Ballon von $1^1/_2$ Fuss Durchmesser nimmt, der aus dünnem Seidenzeuge gefertigt und mit Kautschuklösung überstrichen ist, so ist sein Gewicht gleich der hebenden Kraft des eingeschlossenen Wasserstoffgases. Folgende Tabelle giebt für Charlièren verschiedener Durchmesser die Kräfte an, mit welchen sie in die Höhe zu steigen beginnen:

Durchmesser.	Steigkraft.	Durchmesser.	Steigkraft.	Durchmesser.	Steigkraft.
5 Fuss	1,2 Pfd.	40 Fuss	2276 Pfd.	80 Fuss	19546 Pfd.
10 „	24,5 „	50 „	4542 „	90 „	27443 „
20 „	255 „	60 „	7955 „	100 „	37796 „
30 „	928 „	70 „	12753 „	200 „	308221 „

Durch den Druck der atmosphärischen Luft in Verbindung mit den Gesetzen des Gleichgewichtes schwerer Flüssigkeiten lässt sich die Wirkung vieler Apparate erklären. Wir betrachten von diesen Apparaten folgende:

I. Der Heber ist eine zweischenklige, an beiden Enden offene Röhre von nicht zu grossem Durchmesser *ABC* (Fig. 100), mit dem einen Ende *A* so in eine Flüssigkeit getaucht, dass das andere freie Ende *C* tiefer zu liegen kommt, als das Niveau *M* der

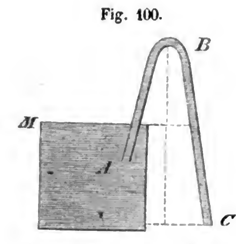


Fig. 100.

Flüssigkeit. Wird dadurch, dass man die Luft in der Röhre verdünnt, die Flüssigkeit durch den äusseren, auf *M* lastenden Atmosphärendruck in die Röhre hineingepresst, so fliesst dieselbe aus dem Schenkel *BC* ab, bis entweder das Niveau der Flüssigkeit bis unter die Höhe von *C* herabgesunken ist, oder bis der Schenkel *BA* nicht mehr in die Flüssigkeit eintaucht. Das Herausfliessen der Flüssigkeit erklärt sich auf folgende Weise: Beide Flüssigkeitssäulen, sowol *AB* als *CB*, haben vermöge der Schwere das Bestreben, herabzufallen. Der Schwere wirkt aber der Luftdruck entgegen und zwar einerseits gegen *C*, und andererseits auf das Niveau der Flüssigkeit *M*. Der Luftdruck ist aber gleich, und es müsste Gleichgewicht stattfinden, wenn die Flüssigkeitssäulen in beiden Schenkeln gleich tief ständen. Weil aber *C* tiefer liegt als *A*, so kann das Gleichgewicht nicht bestehen, sondern die Flüssigkeit muss bei *C* auslaufen, da die Säule im Schenkel *BC* das Uebergewicht hat. Wird die Luft also bei *C* aus der Röhre ausgesaugt, so erhebt sich die Flüssigkeit in Folge des entstandenen leeren Raumes, bis sie den höchsten Punkt *B* erreicht hat; darauf senkt sie sich und fliesst bei *C* aus. Es versteht sich von selbst, dass das Ende *C* nicht frei zu sein braucht, sondern selbst in ein zweites Gefäss eingetaucht sein kann, ohne dass das Ueberfliesen dadurch gestört wird. Das Verdünnen der Luft in dem Heber geschieht durch Saugen mit dem Munde bei *C*. Will man verhindern, dass beim Saugen etwas von der Flüssigkeit in den Mund komme, so bringt man an dem Heber *ABC* (Fig. 101) noch eine Röhre *DE* an, verschliesst, nachdem man *A* in die Flüssigkeit getaucht, die Oeffnung *C* mit dem Finger und saugt bei *E*, bis sich *BC* gefüllt hat. Man nennt einen solchen Heber einen **doppelten** oder **pharmaceutischen Heber**. Macht man das Ende *E* hierbei in Trichterform (Fig. 102), so kann man das Saugen ganz vermeiden, und nachdem man die Oeffnung *C* geschlossen hat, durch Eingiessen bei *E* den

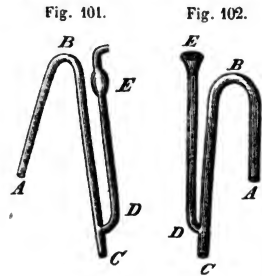
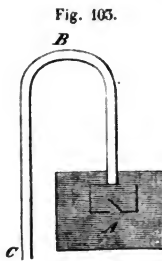


Fig. 101. Fig. 102.

Fig. 103.



Heber füllen. Der Ventilheber (Fig. 103) ist ein einfacher Heber und an dem Ende *A* mit einem kleinen Gefäss versehen, an dessen Boden sich ein, nach oben hin sich öffnendes, leicht bewegliches Klappenventil befindet. Das Füllen geschieht durch stossweisses Auf- und Niedersenken des Hebers.

Um kleine Quantitäten einer Flüssigkeit aus einem Gefässe zu heben, bedient man sich eines Stechhebers (Fig. 104); derselbe besteht aus einem langen, an beiden Seiten offenen, und oben mit einer grösseren Erweiterung *C* versehenen Röhre von Glas. Wird der untere Theil bei *A* in die Flüssigkeit getaucht, so steigt dieselbe sogleich in ihm auf, besonders wenn man die Luft in *C* etwas durch Aussaugen verdünnt. Verschliesst man die Saugöffnung *B* mit dem Daumen und hebt den Heber aus der Flüssigkeit heraus, so wird die Flüssigkeit durch den auf *A* wirkenden Luftdruck schwebend erhalten, und kann durch Wegziehen des Daumens von *B* in Folge ihrer Schwere in ein anderes Gefäss gebracht werden.

Fig. 104.

II. Der Heronsball (Fig. 105) besteht aus einem Gefässe, durch dessen Hals eine mit einer feinen Oeffnung versehene Röhre bis auf den Boden geht und, am besten durch einen Hahn, verschliessbar ist. Saugt man nach dem Oeffnen des Hahnes die Luft aus der Kugel, schliesst dann den Hahn und öffnet ihn unter Wasser, so erfüllt dieses den Raum, den die ausgesogene Luft eingenommen hatte. Wird nun die Luft in *a* auf irgend eine Weise verdichtet, oder, was dasselbe sagen will, die äussere Luft unter dem Recipienten einer Luftpumpe verdünnt, so übt die innere Luft auf das Wasser einen stärkeren Druck aus als die äussere, und das Wasser springt daher in einem Strahle zur Röhre hinaus.

Fig. 105.

Ganz auf demselben Principe, wie der Heronsball, beruht die in der analytischen Chemie zum Auswaschen angewendete Spritzflasche.

Eine Variation des Heronsballes ist der Heronsbrunnen (Fig. 106). Eine Flüssigkeitssäule *a* presst die Luft in *b* zusam-

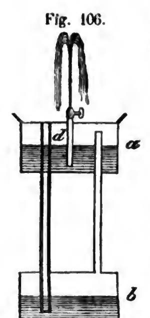


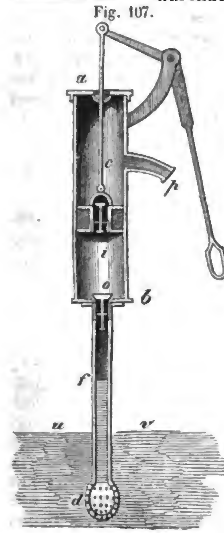
Fig. 106.

men; diese comprimirte Luft drückt auf den Spiegel der Flüssigkeit im oberen Gefässe, und in Folge dieses Druckes muss die Flüssigkeit bei *d* hervorspringen.

Das Princip des Heronsbrunnens findet Anwendung bei der Construction der Lampen mit niedrigem Oelbehälter (z. B. bei der Girard'schen hydrostatischen Lampe), in welchen das Oel durch die comprimirte Luft bis zu derjenigen Stelle, an welcher die Verbrennung vor sich geht, emporgehoben wird.

III. Die Wasserpumpe ist entweder eine Saug- oder Druckpumpe. Eine Saugpumpe besteht aus einem Steigrohr *ab* (Fig. 107), in welchem sich ein Kolben *c* luftdicht auf- und niederbewegen lässt; dieser Kolben ist in der Mitte durchbrochen und mit einer nach unten sich öffnenden Klappe versehen. An das Steigrohr schliesst sich das Saugrohr *bd* an, das gewöhnlich enger ist als das Steigrohr, höchstens aber eine Länge von 30 Fuss haben darf. Der unterste Theil ist durchlöchert und steht im Unterwasser. An der Vereinigungsstelle mit dem Steigrohre befindet sich eine in das Steigrohr sich öffnende Klappe *o*. Wird nun der Kolben in die Höhe gezogen, so wird die Luft im Stiefel unter dem Kolben verdünnt, es hebt die dichtere Luft im Saugrohre die Klappe *o* und dringt zum Theil in den Stiefel. Da sie dadurch specifisch leichter wird, so kann sie dem äusseren, auf die Oberfläche des Wassers *uv* wirkenden Drucke nicht mehr das Gleichgewicht halten, das Wasser wird daher im Saugrohre, z. B. bis *f*, steigen. Geht nun der Kolben nieder, so schliesst sich das Ventil *o*, während *i* gehoben wird, durch welches die comprimirte Luft unterhalb des Kolbens sich in den oberen Theil des Stiefels verbreitet. Nach mehreren Kolbenzügen steigt das Wasser durch das Ventil *o* in den unteren Stiefelraum. Wird

Fig. 107.



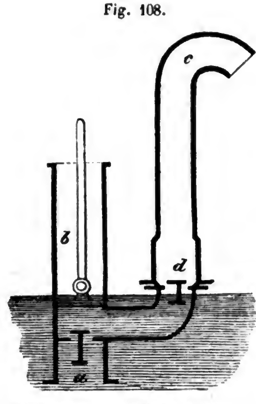


Fig. 108.

jetzt der Kolben und somit auch das darüberstehende Wasser gehoben, so steigt sogleich wieder Wasser aus dem Saugrohre nach, beim folgenden Kolbenniedergange dringt dieses durch die Klappe *i*, und so wächst beim fortgesetztem Spiele des Kolbens die Wassersäule zu einer solchen Höhe an, dass sie die Ausflussröhre *p* erreicht und daraus abfliesst.

Bei den Druckpumpen (Fig. 108) wird das Wasser nicht durch Saugen, sondern durch hydrostatischen Druck zum Steigen und Ausfliessen gebracht. Die wesentlichsten Theile einer Druckpumpe sind: das Saugrohr *a*, ein Stiefel mit Kolben *b* und eine Steigröhre *c*. Das Wasser gelangt hier, wie bei der vorigen Pumpe, aus dem Saugrohr in den Stiefel; aus letzterem wird es beim Hinabgehen des Kolbens in das Steigrohr *c* gepresst, wo es immer höher zu stehen kommt, da das Ventil *d* sein Zurückfliessen verhindert.

Ein vereinigtes Saug- und Druckwerk ist z. B. die Handfeuerspritze.

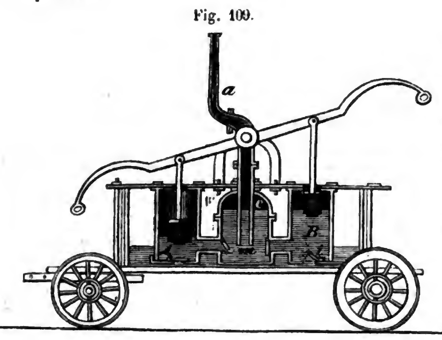


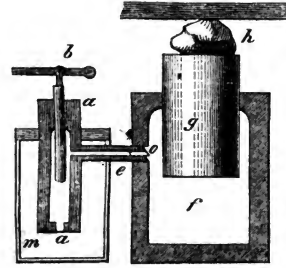
Fig. 109.

Die Feuerspritze (Fig. 109) besteht aus zwei Druckpumpem *A B*, die das Wasser in einen grossen Heronsball *C*, den Windkessel, pumpen. Wird der Kolben gehoben, so dringt das Wasser durch das Ventil *i* in den Stiefel; beim Niedergehen des Kolbens schliesst

sich das Ventil *i*, während sich das Ventil *m* öffnet, durch welches das Wasser in den Windkessel *C* gepresst wird. In diesen Windkessel reicht ein vertical stehendes Rohr bis fast auf den Boden; an dem oberen Ende des Rohres befindet sich eine gebogene Röhre mit enger Oeffnung, der Schwanenhals oder die Schlange, angeschraubt. Je mehr Wasser in den Windkessel gepumpt wird, desto mehr wird die Luft im oberen Theile desselben comprimirt, und der dadurch auf das Wasser ausgeübte Druck presst einen starken Wasserstrahl aus der Oeffnung der Schlange hervor. Der Auf- und Niedergang des Kolbens wird durch einen doppelarmigen Hebel bewirkt, welcher einen Kolben hebt, während der andere niedergeht, so dass also dem Windkessel ohne Unterbrechung neues Wasser zugeführt wird.

IV. Die hydraulische Presse, nach ihrem Erfinder die Bramah'sche Presse genannt, beruht auf dem hydrostatischen Gesetze: **dass in einer Flüssigkeit der auf einen Theil einer Fläche ausgeübte Druck in gleicher Stärke auf einen anderen Theil jeder anderen Fläche wirkt,** oder mit anderen Worten, **dass der Druck sich in einer Flüssigkeit nach allen Richtungen gleichmässig fortpflanzt.** Diese Presse (Fig. 110) besteht im Wesentlichen aus einem engen hohlen Cylinder *a a*, in welchem sich ein massiver Kolben *b* auf- und abschieben lässt; dieser Theil communicirt durch den Canal *e* mit einem hohlen Cylinder *f*, in welchem ebenfalls ein luftdicht schliessender Kolben *g* auf- und abbewegt werden kann. Denkt man sich die Räume um *m* und um *f* mit einer Flüssigkeit, z. B. mit Wasser angefüllt, und es werde der Kolben *b* mit irgend einer Kraft herabgedrückt, so erfährt der grössere Kolben *g* einen Druck nach aufwärts, der so vielmal grösser ist als der Druck auf *b*, als die Querschnittsfläche des kleineren Kolbens in jener des grösseren enthalten ist. Der Kolben *g* wird daher in die Höhe getrieben und übt auf den Körper *h*, der sich zwischen dem Kolben *g* und einem festen Widerhalt *i* befindet, einen starken Druck aus.

Fig. 110.



Damit beim Zurückziehen des kleineren Kolbens der grössere nicht zurückgehen kann, befindet sich in der Communicationsröhre *e* eine Klappe *o*, welche dem Wasser des kleineren Cylinders in den grösseren zu gehen erlaubt, aber nicht umgekehrt. Nimmt man an, die Grundfläche des kleinen Cylinders sei ein Quadratzoll, und die des grossen 100 Quadratzoll, so übt der auf den kleinen Stempel ausgeübte Druck von 1 Pfund auf den grossen Kolben einen Druck von 100 Pfund aus. Lässt man den Druck nicht unmittelbar auf den Stempel, sondern erst vermittelst eines Hebels wirken, dessen Arme sich wie 1 : 10 verhalten, so erzeugt die Kraft von 1 Pfund, wenn sie an dem längeren Hebelarme wirkt, einen Druck von 10 Pfund auf den kleineren, und einen Druck von 1000 Pfund auf den grösseren Cylinder. Der kleine Cylinder bildet mit seinem Kolben eine Druckpumpe.

V. Um die elastische Kraft eines Gases zu messen, die in irgend einem Gefässe enthalten ist, bedient man sich eines Manometers, das mit der Barometerprobe einer Luftpumpe übereinstimmt. Hierzu benutzt man auch die Welter'schen Sicherheitsröhren (Fig. 111), welche dazu dienen, der atmosphärischen Luft Eintritt in die Destillationsgefässe zu gestatten, wenn durch irgend eine Ursache der Druck im Innern der Gefässe sich vermindern sollte. Ohne die Anwendung dieser Röhren könnte leicht eine Explosion stattfinden. Gewöhnlich hat eine solche Sicherheitsröhre die Form einer gebogenen Röhre. In die in der Mitte befindliche Kugel bringt man irgend eine Flüssigkeit, welche verhindert, dass die aus der Flüssigkeit in der Retorte sich entwickelnden Dämpfe entweichen, der atmosphärischen Luft aber einzutreten gestattet, wenn der Druck im Innern der Gefässe sich vermindern sollte.

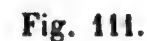


Fig. 111.



VI. Eine sehr sinnreiche Anwendung des Luftdruckes ist die atmosphärische Eisenbahn, bei welcher die Convois, anstatt vermittelst einer Locomotive, durch den atmosphärischen Druck in Bewegung gesetzt werden.

Das Wesentliche einer atmosphärischen Eisenbahn besteht in Folgendem: In der Mitte der gewöhnlichen Räderschienen liegt längs der ganzen Bahn eine eiserne Röhre (die Treibröhre), in welcher ein luftdicht passender Kolben dadurch fortbewegt wird, dass vor demselben die Luft verdünnt, und auf seiner Rückseite die äussere atmosphärische Luft eingelassen wird. Die Treibröhre hat oben ihrer ganzen Länge nach einen Schlitz, der mit einer Klappe luftdicht verschlossen ist, die aus einem Lederstreifen besteht, der so lang wie die Treibröhre, an dieser neben dem Schlitze befestigt ist. An der Stange des in dem Treibrohr befindlichen Kolbens ist der erste Wagen des Wagenzuges befestigt, welcher die übrigen Wagen mit sich fortführt. Die Verdünnung der

Luft vor dem Kolben in der Treibröhre geschieht durch Luftpumpen, welche durch stationäre Dampfmaschinen, die längs der ganzen Bahn von Strecke zu Strecke aufgestellt sind, in Thätigkeit gesetzt werden. Die äussere Luft drückt daher fortwährend auf den Kolben und bewegt in Folge dieses Druckes den Zug. Es ist bei dieser Eisenbahn die Vorrichtung getroffen, dass der Theil der Treibröhre, den der Kolben passirt hat, luftdicht verschlossen und wieder luftleer gemacht wird.

Gleichgewicht gemengter Gase. Wenn zwei ungleichartige, auf einander chemisch nicht einwirkende Gase zu gleicher Zeit in einem bestimmten Raume vorhanden sind, so äussert das Gemenge derselben eine Spannkraft, welche der Summe der ungleichartigen Gemengtheile gleich ist; ein jedes Gas besitzt also im Gemenge die nämliche Spannkraft, als wenn es den Raum allein anfüllte. Daraus folgt, dass ein jedes dieser Gase sich gegen das andere wie eine ausserordentlich poröse, leicht durchdringliche Masse verhält, welche demselben erlaubt, ohne dass sich das Volumen oder die Dichte verändert, gleichförmig auszubreiten, und dass daher Gase, zwischen denen keine chemische Action stattfindet, mit einander in Berührung gebracht, im Gleichgewichtszustande mit einander gleichförmig gemengt sein müssen.

Diffusion der Gase. Wenn ein leichtes Gas sich mit einem schweren Gase gemengt hat, so zeigt das Gemenge kein Bestreben, sich wieder in seine Bestandtheile zu trennen, selbst wenn man das Gemenge längere Zeit stehen lässt. Die Gase verhalten sich also in dieser Beziehung verschieden von gemengten Flüssigkeiten, von denen sich erst wieder mehrere trennen und nach ihrer Dichte auf einander lagern. In Berührung gebrachte Gase werden, selbst der Wirkung der Schwere entgegen, sich mit grösserer oder geringerer Geschwindigkeit in einander verbreiten (diffundiren). Wenn man von Diffusion der Gase spricht, so versteht man darunter hauptsächlich das langsame Zusammentreten zweier durch eine poröse Scheidewand getrennter Gase, welche Verbindung offenbar mit der Seite 100 angeführten Endosmose grosse Aehnlichkeit hat. Graham, welcher sich hauptsächlich mit dieser Classe von Erscheinungen beschäftigte, stellte folgendes nach ihm benanntes Gesetz auf: Wenn zwei Gase, welche ohne chemische Wirkung auf einander, durch eine poröse Scheidewand (thierische Blase, gebrannter, nicht glasirter Thon, getrockneter Gyps, Seifenblasen u. s. w.) getrennt sind, so dringen Volumina von jedem durch die Wand, welche sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus dem specifischen Gewichte der beiden Gase verhalten, wenn der Druck während dieses Austausches der nämliche bleibt.

Die Diffusion der Gase durch eine dünne Flüssigkeitsschicht lässt sich durch folgenden einfachen Versuch nachweisen. Lässt man eine Seifenblase in einem weiten Gefässe auf Kohlensäure schwimmen, so vergrössert sie sich fortwährend durch den Eintritt und das Verdunsten der Kohlensäure und sinkt immer tiefer und tiefer, bis sie endlich auf dem Boden zerplatzt.

Zu den Diffusionserscheinungen gehört eine Beobachtung von Louyet, nach welcher ein Strom von Wasserstoffgas, der aus einer engen Oeffnung heraustritt, durch ein Papier hindurchgeht, ohne zerstreut, d. h. ausgebreitet zu werden, sich hinter demselben entzünden lässt, als wäre gar kein Papier da, und selbst Platinschwamm glühend macht. Dasselbe geschieht auch durch Blattsilber oder Blattgold, endlich auch durch sehr dünne Gutta-Perchahäutchen. Aber durch noch so dünne Glaswände lässt sich kein merklicher Durchgang beobachten.

Gleichgewicht absoluter Gase. Tropfbarflüssige und poröse Körper haben die Eigenschaft, von einem Gase, mit welchem sie in Berührung kommen, eine gewisse Menge desselben aufzunehmen (zu absorbiren). Die Menge des Gases, die von einem Körper absorbirt wird, ist von der materiellen Beschaffenheit beider abhängig und wird ausserdem durch Temperatur und Druck bedingt; diese Menge ist, nach Henry, bei gleicher Temperatur im Allgemeinen dem Drucke direct proportional. Temperaturerhöhung wirkt der Absorption entgegen.

Die Absorption der Gase durch feste Körper lässt sich mit einer porösen, ausgeglühten Kohle zeigen. Um diesen Versuch anzustellen, stellt man eine unten offene, oben verschlossene, mit einem Gase, z. B. mit Kohlensäure, gefüllte Glasröhre in ein Gefäss mit Quecksilber und bringt eine glühende Kohle in die Röhre. Nach kurzer Zeit ist die Kohlensäure absorbirt und das Quecksilber füllt fast die ganze Röhre aus. Bei gewöhnlicher Temperatur werden von Buchsbaumkohle aufgenommen; Ammoniakgas 90 Volumen, Kohlensäure 35 Vol., Sauerstoffgas 9,25 u. s. w. Am stärksten zeigt sich die Eigenschaft fester Körper, Gase zu verdichten, bei dem feingetheilten Platin (Platinschwamm, Platinmohr), in welchem sich der Sauerstoff der Atmosphäre dergestalt verdichtet, dass er glühend wird, und einen Strom von Wasserstoff entzündet (Döbereiner's Wasserstofffeuerzeug), indem sich beide Gase mit einander zu Wasser verbinden. — Das Glas bedeckt sich auf seiner Oberfläche ebenfalls mit einer Schicht condensirter Luft, was sich leicht nachweisen lässt, indem man luftfreies Quecksilber in einem Glasgefässe kocht, wo dann die Luft in Blasen entweicht; eben so ist jeder feste Körper von einer Gasatmosphäre eingehüllt.

Die Absorption der Gase durch tropfbarflüssige Körper erfolgt vermittelst einer Anziehung, in Folge deren die Gase von den Flüssigkeiten an ihrer Oberfläche verdichtet, und wegen der leichten Verschiebbarkeit der Theilchen auch im Inneren absorbirt werden. Wasser absorbirt bei gewöhnlicher Temperatur 670 Volumen Ammoniakgas, 480 Vol. salzsaures Gas, 30 Vol. schwefligsaures Gas, $2\frac{1}{2}$ Vol. Schwefelwasserstoffgas, 2 Vol. Chlorgas, 1 Vol. Kohlensäuregas. Es ist hierbei zu bemerken, dass die absorbirte Gasmenge

nicht allein von der physikalischen Beschaffenheit der Gase, sondern auch von ihrer chemischen Beziehung zum Wasser abhängig ist. Soll eine Flüssigkeit eine grössere Menge von einem Gase aufnehmen, so muss das freie Gas über der Flüssigkeit möglichst stark comprimirt und die Arbeit bei einer möglichst niedrigen Temperatur vorgenommen werden.

Barometrische Höhenmessung. Dass der Druck der atmosphärischen Luft von unten nach oben abnimmt, dass folglich der Barometerstand in verschiedenen Gegenden sich verschieden zeigt, wurde sehr bald nach der Erfindung des Barometers bekannt. Da die Schwere der atmosphärischen Luft durch den Toricelli'schen Versuch nachgewiesen war, so brauchte man auf dieselbe nur dasjenige Gesetz der Flüssigkeiten anzuwenden, nach welchem der Druck an jeder Seite im Inneren überall von der Höhe der darüber ruhenden Flüssigkeitssäule abhängig ist. In Folge dessen musste auch die Höhe der Quecksilbersäule im Barometer abnehmen, je mehr man sich über das Niveau des Meeres erhob; man beobachtete hierbei, dass diese Abnahme nicht der Höhenänderung proportional war, dass sie dies nicht sein konnte, sondern dass vielmehr die Abnahme des Barometerstandes bei gleichen Höhendifferenzen dem Gesetze einer geometrischen Reihe entsprechen musste. Verhielt sich die Luft wie eine tropfbare Flüssigkeit, so würde ihr Druck von unten nach oben gleichförmig abnehmen; ihrer Elasticität wegen geschieht dies aber nach dem Mariotte'schen Gesetze.

Fig. 112.

h — $760\left(\frac{759}{760}\right)^7$
g — 760 ,, ^{6}
f — 760 ,, ^{5}
e — 760 ,, ^{4}
d — 760 ,, ^{3}
c — 760 ,, ^{2}
b — 760 ,,
a — 760 ,,

Der Barometerstand sei an irgend einem Orte 760 Millimeter; erhebt man sich um 11,5 Meter, so sinkt das Barometer auf 759 Millimeter, gleich $760\,\frac{759}{760}$ Millimeter. Wir nehmen hierbei an, dass sich die Temperatur der Atmosphäre in der Richtung von unten nach oben nicht ändert. a (Fig. 112) sei ein Punkt am Boden, b ein Punkt, der um 11,5 Meter höher liegt, und jeder der folgenden Punkte c, d, e, f, g, h sei wieder um 11,5 Meter höher, als der zunächst darunter liegende. Da nun die Dichtigkeit der Luft ihrem Drucke proportional ist, so ist die Luftschicht bc weniger dicht als ab, und die Dichtigkeiten dieser Schichten werden sich verhalten, wie die Barometerstände in a und b. Wenn man sich daher von b nach c erhebt, so sinkt das Barometer nicht

abermals um 1 Millimeter, sondern nur um $\frac{759}{760}$ Millimeter. Der Barometerstand in c wird demnach sein $760\left(\frac{759}{760}\right)^2$, in d $760\left(\frac{759}{760}\right)^3$ u. s. w. Um nun die Höhe eines Berges durch das Barometer zu bestimmen, beobachtet man das Barometer am Fusse des Berges und dann auf dem Gipfel. Um ein genaues Resultat zu erzielen, hat man dabei genau die Temperatur zu berücksichtigen und eine Correction in Bezug auf die in der Luft enthaltenen Wasserdämpfe anzubringen.

Das Barometer kann bei Höhenmessungen durch das Differentialbarometer und durch die Luftwage ersetzt werden. Das Wesentlichste des ersteren besteht darin, dass das Volumen einer abgesperrten Luftmenge genau gemessen und der Druck, unter dem dieselbe steht, genau beobachtet wird. Ist das Gefäss, welches die Luft, die unter dem Atmosphärendruck X steht, so eingerichtet, dass diese genau auf $^4/_5$ ihres Volumens durch Druck zurückgeführt werden kann, so wird die zur Compression unter dem Luftdrucke noch erforderliche Luftsäule $^1/_4$X betragen, da sich der Druck im Verhältnisse von 4 : 5 vermehrt haben muss, um jene Compression zu bewirken. Die freie drückende Quecksilbersäule wird also alsdann in Viertellinien das angeben, was ein gewöhnlicher Barometer in ganzen Linien zeigt. Dieses Instrument ist von Kopp wesentlich verbessert worden. Bei der Luftwage wird unmittelbar das Gewicht einer Kubikeinheit Luft bestimmt und aus diesem, bei gleichartiger Beobachtung des Thermometers und Hygrometers, der Barometerstand abgeleitet. Häufiger als das letztere Instrument benutzt man, nach Wollaston's Vorschlage, das Thermometer zur Höhenmessung, indem man an einem sehr empfindlichen Instrumente den Siedepunkt des Wassers genau beobachtet. Die Dämpfe, welche aus dem siedenden Wasser emporsteigen, haben eine Spannung, die dem Barometerdrucke gleich kommt.

II. Vom Gleichgewicht der Dämpfe.

Dampf ist die allgemeine Benennung derjenigen Körper, die durch die Wirkung der Wärme in den ausdehnsamen Zustand übergegangen sind. Je nach den Stoffen, aus denen die Dämpfe entstanden sind, und von denen sie sich auch in Hinsicht auf ihre chemische Zusammensetzung nicht unterscheiden, nennt man dieselben Wasserdampf, Aetherdampf, Alkoholdampf u. s. w. *) Die Entstehung, sowie das Fortbestehen in Gasform,

*) Anmerkung. Nicht nur flüssige Körper, sondern auch feste verwandeln sich unter dem Einflusse der Temperatur in Dampf, ohne dass bei den letzteren ein Durchgang durch die Form des Tropfbarflüssigen wahrzunehmen wäre; solche feste Körper sind z. B. Kampfer, Eis u. a. Körper, welche schon bei gewöhnlichen Temperaturen leicht in Dampfform übergehen, und sich gleichsam selbst verzehren, indem die erzeugten Dämpfe unbemerkt entweichen. Man nennt dieselben flüchtige Stoffe.

ist eine Wirkung der Wärme, die sich in allen Körpern als ein Streben nach einer Vergrösserung des Volumens zu erkennen giebt. Diesem Bestreben wirkt entgegen: 1) eine attractive Kraft, die sich bei festen Körpern als Adhäsion und Cohäsion zu erkennen giebt; 2) ein mechanischer Druck von Aussen, der bei vielen flüssigen Körpern das alleinige Hinderniss der Verdampfung ist. Der Uebergang aus einem Aggregatzustand in den andern geschieht jederzeit plötzlich, d. h. das Feste wird sogleich flüssig, das Flüssige sogleich luftförmig, und umgekehrt. — Der Dampf ist elastisch wie ein Gas und setzt jedem Hindernisse seiner Ausbreitung einen bestimmten Widerstand entgegen; er hat ferner das Vermögen, einer Quecksilbersäule von gewisser Höhe das Gleichgewicht zu halten. Die Expansivkraft, welche der Dampf besitzt, ist von der Temperatur und von seiner materiellen Beschaffenheit abhängig; diese Kraft hat dieselbe Grösse, gleichviel ob sich die Dämpfe im leeren oder mit irgend einem Gase gefüllten Raume bilden. Zur Kenntniss dieser Eigenschaft kann folgender Versuch dienen. Lässt man in eine mit ausgekochtem Quecksilber angefüllte Barometerröhre etwas durch Auskochen von der Luft befreites Wasser aufsteigen, so bilden sich, sowie das Wasser in der Toricelli'schen Röhre ankommt, Wasserdämpfe, welche auf die Quecksilbersäule einen bestimmten Druck ausüben und die Säule um einige Millimeter sinken machen. Gesetzt nun, das Quecksilber stehe in dieser Barometerröhre um n Millimeter tiefer als die Quecksilberkuppe eines daneben befindlichen Barometers, so ist der Druck, welchen der Wasserdampf auf das Quecksilber ausübt, gleich dem Drucke einer Quecksilbersäule von n Millimeter Höhe. Hätte man anstatt des Wassers eine andere Flüssigkeit, z. B. Aether, in die Barometerröhre gebracht, so würde die Quecksilbersäule noch bedeutender, und zwar bei gewöhnlicher Temperatur ungefähr um die Hälfte, gesunken sein. Die Expansivkraft des Aetherdampfes wäre also hierbei gleich dem einer halben Atmosphäre.

Die Theorie der Dampfbildung ist noch nicht auf einfache Grundsätze zurückgeführt. Früher hegte man die irrige Ansicht, dass sich die Flüssigkeiten in ähnlicher Weise in der Luft lösen, wie feste Körper im Wasser; es ist aber durch Versuche hinreichend bewiesen, dass jede Flüssigkeit im leeren Raume nach denselben Gesetzen wie die Luft verdunstet. Die Dampfbildung ist aber, wie der Process des Schmelzens, nur die Wirkung der Wärme.

Als man den Wärmestoff (*Caloricum*) noch für einen wägbaren Körper ansah, konnte man den Dampf gleichsam als ein chemisches Gemisch von Wasser und Wärmestoff betrachten, und diese Anschauungsweise erleichtert auch jetzt

noch die Auffassung des Factums, wenn gleich der Grund desselben ein anderer ist.

Der Dampf ist, wie schon erwähnt, eine ausdehnsame Flüssigkeit, die eben so wie ein Gas das Bestreben hat, sich nach allen Seiten hin auszudehnen. Jede Quantität Dampf, in ein verschlossenes leeres Gefäss gebracht, wird sich in demselben dergestalt ausdehnen, dass sie dasselbe mit überall gleicher Dichte stetig ausfüllt und gegen alle Punkte der Wände einen gleichförmigen Druck ausübt. Diese Kraft, mit welcher sich der Dampf auszudehnen strebt, und mit welcher er gegen die Wände eines ihn einschliessenden Gefässes einen Druck ausübt, nennt man seine S p a n n k r a f t.

Fig. 113.

Um die Spannkraft des Wasserdampfes bei verschiedenen Temperaturen zu bestimmen, kann man sich eines Verfahrens von D a l t o n bedienen. Nach diesem bringt man in ein Gefäss mit Quecksilber (Fig. 113) zwei Barometerröhren; eine derselben bildet ein vollständiges Barometer, die andere enthält oberhalb des Quecksilbers etwas Wasser, welches theilweise in der Toricelli'schen Leere verdampft. Beide Röhren sind an einem eisernen Stabe befestigt und werden in ein gläsernes Gefäss mit Wasser getaucht. Durch eine unter diesem Gefässe befindliche Lampe kann das Wasser von 0 bis zu 100^0 erhitzt werden. Die Temperatur des Wassers, welche zugleich die des Wasserdampfes in der Barometerröhre ist, wird durch ein Thermometer bestimmt. Die Differenz im Niveau der beiden Barometer giebt uns nun die Spannkraft des Dampfes bei einer gewissen Temperatur.

Fig. 114.



Selbst bei 0^0 oder unter dieser Temperatur entstehen noch Wasserdämpfe, deren Spannung sich durch den Apparat (Fig. 114) bestimmen lässt. Man erhitzt in der Kugel *a* Wasser bis zum Kochen, um aus dem Apparate alle Luft zu entfernen, stellt darauf

die Röhre in ein mit Quecksilber angefülltes Gefäss, und bringt die Kugel, wenn man die Spannkraft bei einer Temperatur unter 0° bestimmen will, in Schnee. Für Temperaturen unter 0° wendet man ein Frostgemisch von gestossenem Eise und Kochsalz an. Aus dem Unterschiede des Standes des Quecksilbers in der Röhre *c*, und dem in einer gewöhnlichen Barometerröhre folgt die Spannkraft des Wasserdampfes.

Zur Bestimmung der Spannkraft des Dampfes für Temperaturen, welche den Siedepunkt einer Flüssigkeit überschreiten, lässt man entweder von dem Gefässe, in welchem die verdampfende Flüssigkeit enthalten ist, ein dem Heberbarometer ähnliches, aber oben offenes Rohr ausgehen, und misst die Höhe der Quecksilbersäule, den Barometerstand dazu gerechnet, welcher in dem Rohre durch den Druck des Dampfes das Gleichgewicht gehalten wird; oder man ermittelt das Gewicht, dessen Druck auf ein am Gefässe befindliches Ventil dem Drucke des Dampfes entspricht.

Bei Anwendung eines heberbarometerähnlichen Gefässes müsste der Schenkel, in welchem der Stand des Quecksilbers gemessen werden soll, bei sehr hohem Drucke ungemein lang sein, was man dadurch umgehen kann, dass man den langen Schenkel oben verschliesst und mit trockener Luft füllt. Durch den Druck des Dampfes wird dann diese Luft zusammengepresst und aus ihrem Volumen lässt sich mit Hülfe des Mariotte'schen Gesetzes der Druck des Dampfes auf das Quecksilber in dem andern Schenkel bestimmen Eines nach diesem Principe construirten Apparates bedienten sich Arago und Dulong, um die Spannkraft des Wasserdampfes bis zu 24 Atmosphärendruck oder bis zu einer Temperatur von 223,9° zu ermitteln.

Folgende Tabelle enthält die Spannkraft des Wasserdampfes von — 20° bis zu 100° C. durch die Höhe der Quecksilbersäule ausgedrückt, welcher der Dampf das Gleichgewicht hält.

Grade.	Spannkraft des Dampfes in Millimetern.	Druck auf 1 Quadratcentimeter in Kilogrammen.	Grade.	Spannkraft des Dampfes in Millimetern.	Druck auf 1 Quadratcentimeter in Kilogrammen.
— 20	1,333	0,0018	2	5,748	0,0078
— 15	1,879	0,0026	3	6,123	0,0084
— 10	2,631	0,0036	4	6,523	0,0089
— 5	3,660	0,0050	5	6,947	0,0094
0	5,059	0,0069	6	7,396	0,0101
1	5,393	0,0074	7	7,871	0,0107

Grade.	Spannkraft des Dampfes in Millimetern.	Druck auf 1 Quadratcentimeter in Kilogrammen.	Grade.	Spannkraft des Dampfes in Millimetern.	Druck auf 1 Quadratcentimeter in Kilogrammen.
8	8,375	0,0114	28	27,390	0,0374
9	8,909	0,0122	29	29,045	0,0396
10	9,475	0,0129	30	30,643	0,0418
11	10,074	0,0137	31	32,410	0,0440
12	10,707	0,0146	32	34,261	0,0465
13	11,378	0,0155	33	36,188	0,0492
14	12,087	0,0165	34	38,254	0,0520
15	12,837	0,0170	35	40,404	0,0549
16	13,630	0,0186	36	42,743	0,0581
17	14,468	0,0197	37	45,038	0,0612
18	15,353	0,0209	38	47,759	0,0646
19	16,288	0,0222	39	50,147	0,0681
20	17,314	0,0235	40	52,998	0,0720
25	23,090	0,0314	50	88,743	0,1205
26	24,452	0,0334	90	525,280	0,713
27	25,881	0,0353	100	760,00	1,0235

Nachstehende Tabelle giebt, nach Versuchen von **Arago** und **Dulong**, die Spannkraft des Wasserdampfes über 100° in Atmosphären an.

Spannkraft in Atmosphären.	Entsprechende Temperatur.	Spannkraft in Atmosphären.	Entsprechende Temperatur.
23,39	223,9	10,60	183,7
22,66	220,4	9,89	180,7
21,60	218,3	8,11	172,1
21,31	217,3	7,61	169,5
20,44	215,1	7,39	168,4
18,55	210,5	6,51	163,2
18,16	209,1	5,12	153,7
17,13	206,1	4,86	151,9
14,53	198,5	2,14	123,0
13,19	193,7	1,00	100,0
11,66	188,4		

Die Erfahrung zeigt, dass die Spannkraft des Dampfes von der Temperatur desjenigen Raumes abhängig ist, in welchem er sich bildet; so hat Wasserdampf, der bei 20° entsteht, eine bedeutend grössere Spannkraft als Wasserdampf, der bei 10° entstanden ist, und von der Flüssigkeit entfernt, noch um 10° (also bis auf 20°) erwärmt wird. Bei höherer Temperatur kann also derselbe Raum mehr Dampf aufnehmen, als bei einer geringeren. Für jede Temperatur giebt es aber eine Grenze, welche nicht überschritten werden kann; man sagt dann, der Dampf befindet sich bei der gegebenen Temperatur im Maximum der Spannkraft; demzufolge lässt sich die Spannkraft des Dampfes nicht wie die eines Gases beliebig durch Verminderung des Volumens erhöhen; ist die Spannkraft auf dem Maximum angelangt, und es findet noch Druck statt, so wird ein Theil des Dampfes zu einer tropfbaren Flüssigkeit verdichtet, und der Rest behält seine frühere Spannkraft und Dichte. Aehnliches findet statt, wenn die Temperatur des Dampfes, der nicht im Maximum der Spannkraft ist, erniedrigt wird. Sobald die Abkühlung unter diejenige Temperatur gelangt, für welche die Menge des in dem Raume enthaltenen Dampfes das Maximum ist, schlägt sich ein Theil des Dampfes nieder, und es bleibt immer nur so viel, als dem Maximum der vorhandenen Temperatur entspricht. So lange, als der Dampf vom Maximum seiner Spannkraft entfernt ist, verhält er sich wie ein Gas und befolgt wie dieses das Mariotte'sche Gesetz.

Die Spannkraft der Dämpfe anderer Flüssigkeiten ist von der Spannkraft des Wasserdampfes oft sehr verschieden; im Allgemeinen haben sie bei gleicher Temperatur eine um so höhere Spannkraft, je leichter die entsprechende Flüssigkeit siedet. So zeigen Schwefelkohlenstoff, Aether, Kohlensäure, schweflige Säure schon bei gewöhnlicher Temperatur eine grosse Spannkraft, während das Quecksilber noch bei 100° kaum eine merkliche Spannkraft zeigt.

Aus Dalton's barometrischen Messungen ergab sich das wichtige Gesetz, dass jeder, schon mit irgend einer Gasart gefüllte Raum für eine andere sich wie ein leerer Raum verhält. Dieses Gesetz lässt sich überall durchführen für je zwei Gas- oder Dampfarten, sobald keine chemische Veränderung bei ihrer Vereinigung eintritt.

Das Sieden. Wenn man eine Flüssigkeit der Luft aussetzt, so geht sie nach und nach in den ausdehnsamen Zustand über, vermindert sich dabei zusehends und verschwindet endlich ganz; man sagt die Flüssigkeit verdunstet. Dieses Verdunsten findet gewöhnlich nur an der Oberfläche der Flüssigkeit statt. Bei

einer grösseren Temperatur aber beginnt auch das Verdunsten im Innern der Flüssigkeit und man sagt dann, die Flüssigkeit siedet. Das Sieden ist stets von eigenthümlichen Erscheinungen begleitet. Erwärmt man nämlich eine Flüssigkeit, die in einem gläsernen Gefässe enthalten sein mag, von unten, so setzt sich zuerst die im Wasser befindliche Luft in Gestalt kleiner Bläschen an der inneren Seite des Glasgefässes ab und entweicht endlich. Darauf bemerkt man, dass Dampfblasen von dem Boden des Gefässes aufsteigen, welche allmählich grösser werden und endlich zerplatzen. Diese Dampfblasen haben während ihres Aufsteigens den Druck der sie umgebenden Flüssigkeit, als auch den auf der Oberfläche der letzteren lastenden Luftdruck auszuhalten; im Anfange der Blasenbildung werden die aufsteigenden Blasen immer kleiner und verschwinden endlich ganz, bevor sie die Oberfläche der Flüssigkeit erreicht haben. Beim Aufsteigen verdichten sich nämlich diese Dampfblasen, weil sie mit Flüssigkeitsschichten in Berührung kommen, deren Temperatur noch zu niedrig ist; dadurch entsteht das eigenthümliche Geräusch, das Singen oder Brummen, welches dem eigentlichen Kochen stets vorangeht. Wenn nun durch das fortgesetzte Aufsteigen von Blasen sich die oberen Flüssigkeitsschichten hinlänglich erwärmt haben, so geht die Dampfbildung durch die ganze Masse der Flüssigkeit vor sich, wodurch die letztere in eine lebhafte Bewegung, in jenes Wellen- und Blasenwerfen versetzt wird, welches das vollständige Sieden anzeigt.

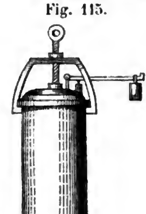
Damit eine Flüssigkeit sieden kann, muss derselben soviel Wärme zugeführt werden, dass die Spannkraft der entstehenden Dämpfe dem Drucke der sie umgebenden Flüssigkeit und dem der Atmosphäre das Gleichgewicht hält. Die Temperatur, bei welcher eine Flüssigkeit siedet, oder der Siedepunkt (Kochpunkt), ist daher von dem auf ihr lastenden Drucke und von ihrer Beschaffenheit abhängig. Eine Flüssigkeit wird um so später sieden, je höher der Barometerstand, und je höher die Flüssigkeitssäule im Gefässe ist. Am Spiegel des Meeres und unter dem mittleren Drucke von 760 Millimetern siedet destillirtes Wasser bei 100°, in Quito'schen bei 90°, auf dem Montblanc bei 86,5°. Im Hospiz auf dem St. Bernhard hat siedendes Wasser nur eine Temperatur von 92,25°, sodass darin Fleisch nicht weich gekocht werden kann. Je geringer der Druck ist, welcher auf der Oberfläche der Flüssigkeit lastet, desto niedriger ist der Siedepunkt. Wasser siedet z. B. bei 35°, bei 11°, bei 0°, wenn der Druck respective 40, 10 und 5 Millimeter beträgt, was man leicht durch den Versuch nachweisen kann, indem man Wasser unter den Recipienten einer Luftpumpe bringt.

Vermehrt man umgekehrt den Druck auf eine Flüssigkeit, so wird der Siedepunkt erhöht; dasselbe geschieht, wenn die Dämpfe, die sich aus einer erhitzten Flüssigkeit entwickeln, nicht entweichen können, weil der Druck dieser Dämpfe die Dampfbildung nicht mehr gestattet. Durch Entfernung der Dämpfe lässt sich das Sieden sogleich wieder hervorrufen.

Man kann letzteres nachweisen, indem man einen Glasballon zum dritten Theile mit Wasser füllt, dasselbe bis zum Kochen erhitzt und, sobald durch die Dämpfe die Luft aus dem Ballon entfernt worden ist, den Hals desselben durch einen Kork luftdicht verschliesst. Kehrt man jetzt das Gefäss um und giesst kaltes Wasser darauf, so beginnt das Wasser sogleich von neuem zu sieden. Durch die Abkühlung wird nämlich der in dem oberen Theile des Ballons befindliche Dampf condensirt und dadurch der Druck zum grössten Theile aufgehoben.

Das Verdampfen (Abdampfen) hat gewöhnlich zum Zweck, eine Auflösung irgend eines Körpers durch Verjagung der Flüssigkeitstheilchen zu concentriren, oder flüchtige Bestandtheile von nicht flüchtigen zu trennen. Die Erfahrung hat in Bezug auf das Abdampfen gezeigt, dass 1) in einer mit Dämpfen gesättigten Atmosphäre kein Abdampfen stattfindet; dass 2) in absoluter Ruhe eine Flüssigkeit ebenfalls nicht verdampfen kann; 3) dass durch Bewegen der Oberfläche der Flüssigkeit und 4) durch Erhöhung der Temperatur das Abdampfen beschleunigt wird. Durch Vergrösserung der Oberfläche der abzudampfenden Flüssigkeit findet ebenfalls raschere Verdampfung statt. Als Beispiel lässt sich das Verdunsten der Salzsoolen in den Gradirhäusern der Salinen anführen.

Fig. 115.



Eine Erhöhung des Druckes durch Vermehrung des Siedepunktes ist z. B. bei dem Papinian'schen Digestor (Fig. 115) der Fall. Derselbe besteht aus einem dichten und starken, mit Sicherheitsventil versehenen Kessel, in welchem Wasser auf 150—200° erhitzt werden kann, ohne dass es zu kochen anfängt. Man benutzte früher diesen Digestor, um durch Auflösen der organischen Substanz der Knochen eine wohlfeile Suppe herzustellen.

Häufig lässt man in den Gewerben die Flüssigkeiten mit Vortheil unter vermindertem Drucke sieden; es geschieht dies dann, wenn die Flüssigkeiten beim Sieden unter gewöhnlichem Drucke Farbe und Geschmack verändern. So concentrirt man Zuckersyrup, nach Howard und Derosne, in sogenannten Vacuumpfannen, in welchen die Verdampfung in einem luftverdünnten Raume vor sich geht. Der luftverdünnte Raum wird entweder durch eine durch Dampfkraft in Bewegung gesetzte Luftpumpe, oder durch Abkühlen der Dämpfe behufs der Condensation erzeugt. Aehnliche Apparate benutzte man zur Darstellung der Pflanzenextracte, bei welchen der Zutritt der Luft auf das sorgfältigste vermieden werden muss.

Der Siedepunkt einer Flüssigkeit wird erhöht, wenn sich die Flüssigkeiten mit fremden Stoffen chemisch verbinden; so erhöhen z. B. alle löslichen Salze die Temperatur des Siedepunktes des reinen Wassers; der Dampf aber, welcher sich aus solchen Lösungen bildet, hat dieselbe Spannkraft und Temperatur, wie die aus reinem Wasser entwickelten, vorausgesetzt, dass sie reine Wasserdämpfe sind. Die mit den folgenden Körpern gesättigten wässrigen Lösungen sieden bei den nebenstehenden Temperaturen:

Mit	Kochsalz gesättigt	bei	109,0°	C.
„	einfach weinsaurem Kali	„	116,7	„
„	Kleesäure (Oxalsäure)	„	112,2	„
„	Salmiak	„	114,4	„
„	Salpeter	„	115,6	„
„	kohlensaurem Kali	„	140,0	„
„	Kalihydrat	„	157,8	„
„	salpetersaurem Ammoniak	„	182,2	„
„	Natronhydrat	„	215,5	„

Ausser dem Drucke oder den beigemengten fremden Körpern ist auch noch die Gefässwand von Einfluss auf die Erscheinung des Siedens. In metallenen Gefässen siedet z. B. Wasser bei einer etwas niedrigeren Temperatur als in gläsernen. Eckige Körper, wie Glaspulver, Platinblech, Eisendraht erleichtern die Dampfbildung und bewirken daher, dass die Flüssigkeit früher siedet als in glatten, reinen Gefässen.

Eine sehr gewöhnliche Erscheinung beim Sieden einer Flüssigkeit ist das Stossen, welches man wol am richtigsten in der grösseren Attraction der Gefässwände zu der Flüssigkeit sucht.

Den Zusammenhang des Siedepunktes einer Flüssigkeit mit ihrer chemischen Beschaffenheit erkennt man aus den entsprechenden Siedepunkten. In neuester Zeit wurden über diesen Zusammenhang von Kopp und Schröder ausgedehnte Untersuchungen angestellt, welche zwar noch zu keinem allgemeinen Gesetze führten, aus denen sich aber doch ergeben hat, dass in vielen Fällen die Differenzen in der Zusammensetzung und in den Siedepunkten sich entsprechen. Werden zwei Flüssigkeiten mit einander gemengt, die keine chemische Wirkung auf einander ausüben, so ist die Temperatur des Siedepunktes der Mischung etwas höher als der Siedepunkt der flüchtigsten von beiden, wenn diese unterhalb der andern liegt. Befindet sich hingegen die letztere oben, so verdampft sie unabhängig von der andern. Der Siedepunkt des Wassers wird durch Alkohol erniedrigt, durch Schwefelsäure erhöht. Auch bei Flüssigkeiten, welche sich chemisch ver-

binden, ändert sich der Siedepunkt je nach den Verhältnissen der Mischung.

In folgender Tabelle finden wir die Siedepunkte verschiedener Flüssigkeiten bei einem Drucke von 760 Millimetern:

Cyangas	— 18°	Salpetersäure	120°
schweflige Säure	— 10°	Terpentinöl	156°
Chloräthyl	+ 11°	Steinöl	160°
Aether	36°	Phosphor	290°
Schwefelkohlenstoff	47°	Schwefelsäure	326°
Salmiakgeist	60°	Thran	332°
Alkohol	78°	Quecksilber	350°
Wasser	100°	Schwefel	420°

Alle Dämpfe, die sich bei der Siedehitze oder weit unter dieser bilden, entstehen stets auf Kosten der Wärme, die sie binden. Bei der Dampfbildung unter der Siedehitze erkennt man das Gebundenwerden der Wärme durch die Erkältung der verdunstenden Flüssigkeit und ihrer Umgebung.

Durch das Binden der Wärme beim Verdampfen erklärt sich die Kälte der Luft nach einem Regen, die empfindliche Wirkung feuchter Winde, die Möglichkeit für Menschen, ohne Erhöhung der Temperatur des Blutes in einem stark erhitzten Raume zu leben, sowie die Wirkung der Alkarrazas. Letztere sind poröse Thongefässe, welche die Bestimmung haben, Wasser abzukühlen. Füllt man ein solches Gefäss mit Wasser, so dringt ein Theil der Flüssigkeit durch die Poren der Wände und verdunstet an der äusseren Fläche, daher die Temperaturerniedrigung im Innern. Auf dasselbe Princip gründet sich Leslie's Versuch, das Wasser durch seine eigene Verdampfung unter dem Recipienten einer Luftpumpe zum Gefrieren zu bringen, indem man die Verdampfung durch die wasseranziehende Kraft der Schwefelsäure unterhält. Durch Verdunsten von Aether oder flüssiger schwefliger Säure kann man Quecksilber zum Gefrieren bringen. Mittelst einer Mischung von Aether und condensirter Kohlensäure brachte Faraday in einem glühenden Platintiegel Quecksilber in wenigen Secunden zum Gefrieren. Ein seltsamer Versuch, wo Quecksilber aus einem glühenden Platintiegel gefroren heraus kommt! In Wollaston's Kryophor gefriert das Wasser ebenfalls durch seine eigene Verdampfung. Dieses Instrument besteht aus einer horizontalen, ungefähr 9 Zoll langen Glasröhre, die an beiden Enden rechtwinklig umgebogen ist, und kurz unter den Umbiegungen auf jeder Seite in eine Kugel von ungefähr 1 Zoll Durchmesser endet. Ehe die zweite Kugel zugeschmolzen ist, wird die erste mit Wasser gefüllt und dies bis zum Sieden erhitzt. Die Dämpfe entweichen durch den ganzen Apparat, dessen Oeffnung durch die Löthrohrflamme geschlossen wird. Bringt man nun die leere Kugel in ein Frostgemisch, so condensiren sich die Dämpfe in derselben, und das Wasser der anderen Kugel verdampft so lebhaft, dass es in sehr kurzer Zeit gefriert.

Der sphäroidale Zustand. Wenn man in ein rothglühendes Gefäss von Metall einige Tropfen Wasser bringt, so behalten sie die Gestalt der Tropfen bei und nehmen eine schnelle drehende Bewegung an, ohne ins Sieden zu kommen und ohne merklich an Volumen abzunehmen. Erhält man die Metallschale im Glühen, so kann man nach und nach mehr Wasser in die Schale bringen, ohne dass diese grössere Menge zum Kochen kommt. Lässt man die Schale erkalten, so beginnt das Wasser plötzlich mit grosser Heftigkeit zu verdampfen und dabei wird das Wasser nach allen Richtungen hin fortgeschleudert. Diese Erscheinung ist unter dem Namen des Leidenfrost'schen Versuchs bekannt. Boutigny giebt für diese Erscheinung folgende Erklärung. Ein auf eine heisse Fläche gebrachter Körper ist im sphäroidalen Zustande, wenn er abgerundete Form annimmt und sich auf jener Fläche ausserhalb der Sphäre physikalischer und chemischer Thätigkeit hält. In diesem Zustande reflectirt er die strahlende Wärme, und seine Moleküle sind in Beziehung auf die Wärme im stabilen Gleichgewicht, d. h. seine Temperatur ist unveränderlich oder nur innerhalb enger Grenzen wechselnd. Auf Glas lässt sich der sphäroidale Zustand des Wassers leicht hervorbringen, wenn man siedendes Wasser auf das erhitzte Glas bringt.

Boutigny hat die Thatsache constatirt, dass man die Hand in geschmolzenes Eisen, Bronze oder Blei eintauchen kann, ohne sich zu verbrennen. Der Versuch gelingt vorzugsweise, wenn man die Hand mit Seife reibt und dadurch glättet und unmittelbar vor dem Versuche in eine kalte, mit schwefliger Säure gesättigte Lösung von Salmiak taucht. Boutigny erklärt diese Thatsache dadurch, dass er annimmt, die Hand komme mit dem geschmolzenen Metalle nicht in unmittelbare Berührung, da die Feuchtigkeit der ersteren sogleich in den sphäroidalen Zustand übergeht. Boutigny giebt ferner an, dass ein mit Wasser benetzter Finger in geschmolzenem Blei die Temperatur des in sphäroidalen Zustande befindlichen Wassers empfinde, ein mit Alkohol benetzter eine sehr mässige Wärme, ein mit Aether benetzter ein sehr angenehmes Gefühl von Kälte. Boutigny spricht die Ansicht aus, dass die im sphäroidalen Zustande befindlichen Körper durch eine Schicht Materie begrenzt seien, welche mit einer starren Hülle verglichen werden kann, die durchsichtig, ausserordentlich dünn und sehr elastisch sei.

Bestimmung des specifischen Gewichtes der Dämpfe. Die Bestimmung der Dichte der Dämpfe kann auf zweierlei Weise geschehen; nach der einen Methode misst man das Dampfvolumen, das man von einer bestimmten Quantität Flüssigkeit erhalten hat; nach der andern bestimmt man das Gewicht eines gewissen Volumens Dampf. Um die Dichte des Dampfes durch Messen eines bestimmten Volumens von Wasserdampf zu bestimmen,

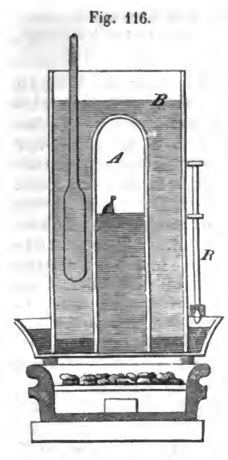


Fig. 116.

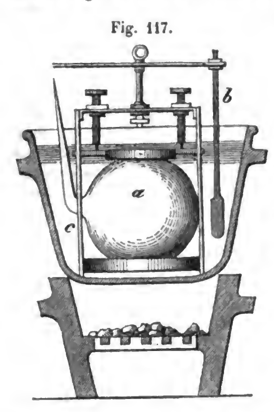
wendete Gay-Lussac folgenden Apparat (Fig. 116) an. Er schliesst die Flüssigkeit, von deren Dämpfen das specifische Gewicht bestimmt werden soll, in kleine Glaskugeln ein, die vor der Lampe zugeschmolzen werden, und bringt diese Kugeln in eine mit Quecksilber angefüllte graduirte Röhre; letztere befindet sich in einer Glashülle *B*, welche mit Wasser angefüllt wird, das durch ein darunter befindliches Kohlenfeuer bis zum Sieden erhitzt werden kann. Das Wasser in dem Glaskügelchen dehnt sich aus und zersprengt dasselbe. In Folge des Druckes der Wasserdämpfe sinkt das Quecksilber in der Röhre *A*. Nachdem alles Wasser verdampft ist, erhält man das Ganze noch einige Zeit bei constanter Temperatur, um die Beobachtungen anstellen zu können.

Das Volumen wird durch die Graduation der Röhre angegeben. Es ist daher hinreichend, das Gewicht eines gleichen Volumens Luft bei demselben Drucke und bei derselben Temperatur zu berechnen, um das specifische Gewicht des Dampfes kennen zu lernen. Es ist dabei der Druck des Barometers zu berücksichtigen, sowie der Druck der Wassersäule in der Glashülle, von der Oberfläche des Quecksilbers an gerechnet bis an die Oberfläche der Wassersäule. Bei dem Apparat befindet sich gewöhnlich an der Seite ein Schieber *R*, um genau die Höhe bestimmen zu können. Von dieser Totalhöhe muss man die des Quecksilbers in der graduirten Röhre abziehen. Das Wasser in dem Kügelchen sei = 0,404, das Volumen des Dampfes = 0,885 Liter bei 100°. Wenn man zu dem Barometerdruck, = 760 Millimeter, denjenigen der Wassersäule = 0,024 hinzugefügt, so hat man den Druck = 0,684. Von diesem Drucke ist aber abzuziehen der der Steigerung des Quecksilbers in der Röhre, z. B. = 0,10, so hat man für den Totaldruck = 0,784. Um nun das Volumen kennen zu lernen, das ein bekanntes Gewicht Dampf bei bekannter Temperatur und Barometerstand einnimmt, verfährt man folgendermassen. 0,404 Gr. Dampf bei 100° und 684 Millimetern Druck = 0,885 Litern, bei 760 Millimetern aber = 0,800 Litern bei 100° oder 0,500 Litern bei 0°. Da nun 0,500 Liter Dampf bei 0° und 760 Millimetern 0,404 Gr. Wasser entsprechen, so wiegt eine Liter unter denselben Bedingungen 0,808. Da nun ein Liter Luft unter gleichen Umständen 1,299 Gr. wiegt, so ist das Gewicht eines Liters Wasserdampf = 0,623, und dies ist seine Dichte. Wasser nimmt als Dampf bei 100° einen beinahe 1700mal grösseren Raum ein. Die Dichte des Wasserdampfes verhält sich demnach zur Dichte der Luft wie 5 : 6. Dieses Resultat lässt sich auch auf alle anderen Temperaturen

und Spannkräfte ausdehnen und man kann annehmen, dass überhaupt die Dichte des Wasserdampfes $^{5}/_{8}$ von jener der Luft unter denselben Umständen beträgt. Auf ähnliche Weise bestimmt man die Dichte des Alkoholdampfes zu 1,60.

Zur Bestimmung der Dichte des Dampfes durch Wägen eines gewissen Volumens bedient man sich des Apparates Fig. 117. Man nimmt einen Glasballon *a*, wägt denselben mit trockener Luft angefüllt, erwärmt ihn und taucht ihn darauf mit seinem ausgezogenen Ende in die Flüssigkeit, von deren Dämpfen das specifische Gewicht bestimmt werden soll. Während des Abkühlens tritt ein Theil der Flüssigkeit in den Ballon ein. Nachdem dies geschehen ist, befestigt man den Ballon in einem Gefässe *c*, das mit einer leichtflüssigen Legirung angefüllt ist, und erhitzt dieselbe bis einige Grad über den Siedepunkt der zu untersuchenden Substanz. Wenn der Dampf aus der Spitze des Ballons auszuströmen beginnt, schmilzt man die Spitze vor dem Löthrohr zu. Das Thermometer *b* dient zur Bestimmung der Temperatur, die genau notirt wird. Ebenso wird auch der Barometerstand aufgezeichnet. Nachdem der Ballon aus der Flüssigkeit entfernt worden und abgekühlt ist, wägt man ihn von neuem, bringt das ausgezogene Ende unter Quecksilber und bricht die Spitze desselben ab. Da durch das Abkühlen der Dampf verdichtet worden ist, befindet sich im Ballon ein luftleerer Raum, das Quecksilber strömt mit Heftigkeit ein und füllt den Ballon gänzlich an. Misst man darauf das Quecksilber in einer graduirten Röhre, so kennt man die Capacität des Ballons und hat demnach alle Bedingungen zur Berechnung der Dampfdichte.

Fig. 117.



Beispiel. Bestimmung der Dampfdichte des Aethers. Der Ballon mit Luft habe gewogen 200 Gr.; der bei 45° Temperatur und 750 Millimetern Barometerstand zugeschmolzene Ballon 200,857 Gr. Die Capacität des Ballons = 0,556 Liter. Der mit Luft angefüllte Ballon enthält demnach 0,556 Liter Luft, die 0,722 Gramme wiegen. Zieht man dieses Gewicht von dem des mit Luft angefüllten Ballons ab, so bleibt für die Tara des Ballons 199,278 Gramme. Daraus berechnet sich für das Gewicht von 0,556 Litern zu 1,579 Grammen, auf

das Gewicht eines Liters bei 0° und 760 Millimeter reducirt = 2,594 (denn $\frac{3,36}{1,29}$ = 2,594). Letztere Zahl ist die Dichte des Aetherdampfes.

Die Dichte des Dampfes eines zusammengesetzten Körpers lässt sich endlich aus den bekannten Dichten der Bestandtheile berechnen, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, dass viele Stoffe, die chemisch sich mit einander verbinden, bei ihrer Verbindung ihr Volumen verringern, so geben

2 Volumen Wasserstoff mit 1 Vol. Sauerstoff 2 Vol. Wasserdampf,
3 „ „ „ 1 „ Stickstoff 2 „ Ammoniakgas.

Wollte man z. B. das specifische Gewicht des Aetherdampfes berechnen, so verfährt man auf folgende Weise: Der Aether besteht aus 4 Vol. Kohlenstoffgas, 5 Vol. Wasserstoffgas und 1 Vol. Sauerstoffgas (C_4H_5O), die sich bei ihrer chemischen Verbindung auf zwei Volumen verdichtet haben; da man nun das Gewicht dieser verschiedenen Gase kennt, so sagt man

4 Vol.	Kohlenstoffgas	= (0,836 × 4)	3,344
5 „	Wasserstoffgas	= (0,1386 × 5)	0,693
1 „	Sauerstoffgas	=	1,109
			5,146
			2 = 2,573.

Diese Zahl 2,573 stimmt aber mit der durch den Versuch gefundenen 2,594 ziemlich überein.

Erscheinungen, die von dem Dampfgehalte der Atmosphäre abhängig sind. Die Atmosphäre enthält stets eine gewisse Menge Wasserdampf, jedoch nicht immer in dem Maximum, das bei der herrschenden Temperatur möglich ist. Da aber dieses Maximum bei niedriger Temperatur geringer ist als bei höherer, so kann dieses Maximum durch Aufnahme von neuen Mengen von Wasserdampf, sowie durch Erniedrigung der Temperatur überschritten werden. Wenn dies der Fall ist, so geht der Dampf, wenn Temperaturerniedrigung erfolgt, in den tropfbarflüssigen Zustand über, und es bildet sich ein Niederschlag. Geschieht dieses Niederschlagen des atmosphärischen Wassers auf festen Körpern bei niedriger Temperatur, so überziehen sich die festen Körper mit einer festen Schicht, mit Reif; im tropfbaren Zustande nennt man diesen Niederschlag Thau. Diejenige Temperatur, die erforderlich ist, damit der Wasserdampf aus der Atmosphäre sich niederschlage, nennt man den Thaupunkt. Geschieht dieses Niederschlagen im Ganzen einer Luftmasse, so wird die Atmosphäre mehr oder weniger undurchsichtig. Erfolgt dieser Niederschlag in den unteren Schichten der Atmosphäre, nahe an

der Erdoberfläche, so nennt man denselben **Nebel**; erfolgt derselbe in den höheren Luftschichten, so nennt man ihn **Wolken**. Zwischen Nebel und Wolken ist kein fernerer Unterschied, und wenn ein auf einem hohen Berge befindlicher Beobachter sich in Nebel gehüllt glaubt, so bezeichnen die Bewohner des anliegenden Thales jene Bergspitze als mit Wolken umgeben. Wenn die Wassertropfen in einer Wolke sich vergrössern, was durch weitere Temperaturerniedrigung der Fall sein kann, so werden sie zuletzt aus der Atmosphäre herabfallen, und dieses Herabfallen der Wassertropfen oder die fallenden Tropfen selbst bezeichnen wir mit dem Namen **Regen**. Wenn durch noch grössere Temperaturerniedrigung die Wassertröpfchen zu kleinen Eiskrystallen werden, so erhalten sich dieselben so lange schwebend in der Atmosphäre, bis sie durch fortwährende Condensation von Wasserdampf sich vergrössern, sich zu Flocken vereinigen und als **Schnee** zur Erde fallen. Im Sommer ereignet es sich häufig, dass die condensirten Wasserdämpfe in fester Form als **Hagel** zu Boden fallen. Die Hagelbildung selbst gehört ungeachtet vielfacher Hypothesen noch zu den unerklärten Phänomenen. Man unterscheidet drei Arten von Hagel, nämlich 1) **gefrorene Regentropfen**, durchsichtige Eiskügelchen, die sich bilden, wenn nach einer grossen Kälte plötzlich feuchte Thauwinde eintreten; 2) **Graupeln**, die aus kleinen, undurchsichtigen, weissen, schneeballähnlichen Kugeln bestehen, durch Zusammenbacken von Schneeflocken während der Bildung und des Niederfallens entstanden scheinen, und sich am häufigsten beim Uebergange der kälteren in die wärmere Jahreszeit bilden; und 3) den eigentlichen **Hagel**; letzterer hat eine birnförmige oder pyramidenähnliche Gestalt, ist an der unteren Seite halbkugelförmig abgerundet, und um die weisse, schneeähnliche Masse im Inneren zeigen sich meist mehrere concentrisch schalige Lagen von durchsichtigem Eise, so dass derselbe als ein Graupelkorn, mit einer Eiskruste versehen, zu betrachten ist.

Hygrometrie. Man nennt die Atmosphäre **trocken**, wenn sie weit entfernt davon ist, mit Wasserdampf gesättigt zu sein; **feucht** dagegen, wenn sie so weit gesättigt ist, dass die unbedeutendste Temperaturerniedrigung einen Niederschlag zur Folge hat. Diejenigen Vorrichtungen, welche die Erforschung des Wasserdunstgehaltes der freien atmosphärischen Luft bezwecken, nennt man **Hygrometer**. Die wichtigsten derselben sind 1) das **Fischbeinhygrometer von Deluc**, 2) das **Haarhygrometer von Saussure**, 3) das **Aetherhygrometer von Daniell** und 4) das **Psychrometer von August**.

Fig. 118.



Fig. 119.

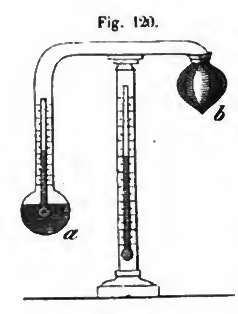


Das Fischbeinhygrometer von Deluc (Fig. 118). Der Hauptbestandtheil desselben ist ein sehr dünner Streifen von Fischbein, nach der Quere der Fasern durchschnitten; bei *A* wird derselbe von einer Klammer, bei *B* durch eine andere Klammer gehalten, welche letztere mit einem Streifen von Silberblech verbunden ist. Bei *C* ist der Fischbeinstreifen über eine bewegliche Axe gespannt. Von dieser Axe aus geht in der entgegengesetzten Richtung ein zweiter Metallfaden, welcher mit einer kleinen Metallfeder in Verbindung steht, der bei *D* an dem Gestelle befestigt ist. An der Axe ist zugleich ein Zeiger, der über der Eintheilung eines Bogens spielt, dessen Mittelpunkt *E* die eine Auflage der Axe bildet. Wenn sich der Fischbeinstreifen *AB* durch aufgenommene Feuchtigkeit ausdehnt, so wird er schlaff, und die Feder bei *D* kann nun die Axe so umdrehen, dass der Zeiger an der Eintheilung vorrückt. Wird hingegen der Streifen *AB* durch Austrocknen kürzer, so dreht er die Axe so, dass der Zeiger zurück muss. Bei jeder Ausdehnung hat also der Zeiger eine bestimmte Stellung und zeigt auf der Eintheilung eine bestimmte Zahl an, durch welche der Feuchtigkeitszustand der Luft angegeben wird.

Das Haarhygrometer von Saussure (Fig. 119) besteht aus einem langen, an dem einen Punkte befestigten Haare, das über eine Rolle *A* geht, an welcher ein Zeiger befestigt ist, der sich über eine Kreiseintheilung *C* bewegt. Am Ende dieses Haares ist ein kleines Gewicht befindlich, durch welches das Haar stets gespannt gehalten wird und der Rolle sich zu bewegen gestattet, sobald das Haar nur die geringste Veränderung in der Länge erleidet. Da das Haar in feuchter Luft sich verlängert, in trockener sich verkürzt, so bewegt sich der Zeiger bald nach der einen, bald nach der anderen Seite hin und giebt den Grad des Feuchtigkeitszustandes an.

Daniell's Aetherhygrometer (Fig. 120) besteht aus zwei Glaskugeln *a* und *b*, welche durch eine Röhre mit einander verbunden sind. Die Kugel *b* ist mit einem feuchten Mousselinläppchen umwickelt, die Kugel *a* des luftleeren Apparates ist zum Theil mit Aether angefüllt, in welchem sich die Kugel eines kleinen Thermometers befindet. Tröpfelt man nun etwas Aether auf den Mousselin, so erkaltet die Kugel *b* durch Verdampfung des Aethers. In der Kugel *a*

Fig. 120.



entsteht von neuem Aetherdampf, welcher in der Kugel *b* condensirt wird u. s. f. Zu gleicher Zeit erniedrigt sich aber die Temperatur in der Kugel so weit, dass sie von aussen mit einem feinen Thau beschlägt. In diesem Augenblicke liesst man die Temperatur des Thermometers ab und bestimmt die zu dieser Temperatur gehörige Spannkraft der in der Atmosphäre vorhandenen Dämpfe. Die Temperatur, bei welcher die Verdichtung des Wasserdampfes in der Kugel beginnt, nennt man den Thaupunkt.

Jede Verdunstung ist von einer Wärmebindung begleitet, welche eine Erkältung der verdunstenden Flüssigkeit und deren nächster Umgebung verursacht. Befindet sich nun diese Flüssigkeit in einem Raume, der mit ihrem Dampfe noch nicht gesättigt ist, und der eine solche Ausdehnung hat, dass die Menge des neu hinzukommenden Dampfes die Spannung des schon vorhandenen nicht merklich ändert, so nimmt die Verdunstung, bei vorhandenem Luftzug, bald einen gleichmässigen Verlauf an, indem zwischen dem Zuflusse der Wärme durch die Luft und dem Verbrauche derselben zur Dampfbildung sich Gleichgewicht herstellt. Die Temperatur, welche die verdunstende Flüssigkeit annimmt, ist niedriger, als die der Luft, und hängt ab von der Temperatur und Dichtigkeit der Luft und von der Grösse der Spannung der in ihr befindlichen Dünste. Man bezeichnet diese Temperatur mit dem Namen Verdampfungstemperatur oder Nasskälte.

Fig. 121.

August's Psychrometer (Fig. 121) giebt uns nun diese Temperatur näher an. Dieses Instrument besteht aus zwei empfindlichen, genau übereinstimmenden Thermometern, die an einem und demselben Gestelle befestigt sind. Die Kugel des einen ist mit Mousselin umwickelt, von welchem man das untere Ende in ein mit destillirtem Wasser gefülltes Gläschen herabhängen lässt. Dadurch erhält sich der Mousselin immer feucht. Die Verdunstung, welche an dieser Kugel erfolgt, geht um so scheller von statten, je weniger die Luft mit Wasserdämpfen gesättigt ist. Durch die Verdunstung wird Wärme gebunden und das Thermometer sinkt so lange, bis die umgebende Luft mit Wasserdämpfen gesättigt ist. Der Feuchtigkeitszustand der Luft ergiebt sich aus der Differenz beider Thermometer. Ist keine Differenz vorhanden, so ist die Atmosphäre mit Feuchtig-

keit gesättigt und es kann an der benetzten Kugel keine Verdunstung stattfinden. Die Differenz ist aber um so grösser, je weniger die Luft mit Dämpfen gesättigt ist, je niedriger der Barometerstand und je höher die Temperatur.

Der Wassergehalt der Atmosphäre kann endlich auf directem Wege bestimmt werden, indem man eine gemessene Menge Luft durch eine Röhre leitet, welche Stückchen von Bimstein enthält, die mit concentrirter Schwefelsäure benetzt sind, und das Gewicht dieser Röhre vor und nach dem Versuche bestimmt.

Sich an die Hygrometer anschliessend, dürfte hier das Atmidoscop von Babinet zu erwähnen sein, welches zur Messung der Stärke der Verdampfung dient, die sich je nach Trockenheit, Temperatur und schnellem Strömen der umgebenden Luft ändert. Es besteht aus einem porösen Thongefässe, durch dessen Wände das Wasser sickert und an der Oberfläche verdunstet. Die Menge des verdunsteten Wassers liesst man an einer graduirten communicirenden Röhre ab. Da dieses Instrument durch die Bewegung der Luft in seinen Resultaten modificirt wird, so unterscheidet es sich vom gewöhnlichen Hygrometer.

Vorrichtungen, durch welche man die Zunahme oder Abnahme der Feuchtigkeit der Atmosphäre beobachten kann, nennt man Hygroscope. Sie unterscheiden sich von den Hygrometern dadurch, dass durch sie eine genaue Ermittelung des Feuchtigkeitszustandes der Luft nicht erreicht werden kann. Die Hygroscope bestehen meist aus einem Stoffe, der Wasserdunst absorbirt, und dadurch Volumen, Gestalt und Gewicht verändert. Zuweilen hat man auch aus der chemischen oder electrischen Aenderung einer Substanz auf die Luftfeuchtigkeit geschlossen. Es giebt fast unzählige Vorschläge zu Hygrometern, welche auf der hygroscopischen Eigenschaft gewisser Stoffe begründet sind. Die Apparate von Saussure und Deluc sind ihrer zweckmässigen Einrichtung wegen, obgleich im Principe Hygroscope, zu den Hygrometern zu rechnen.

Die Anwendung des Dampfes. Der bei der Siedehitze einer Flüssigkeit entstandene Dampf findet in Folge seines grossen Gehaltes an gebundener Wärme und seiner grossen Spannkraft vielfache Anwendung. Es beruhen darauf: der Destillationsprocess, die Dampfheizung und die Dampfmaschine.

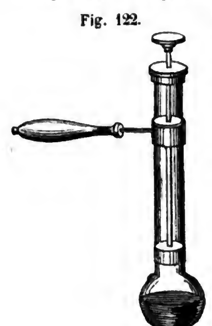
Der Destillationsprocess hat zum Zweck, eine Flüssigkeit von einer minder flüchtigen zu trennen. Die dazu gebräuchlichen Apparate bestehen im Wesentlichen aus zwei Theilen, von denen der eine, Retorte oder Destillirblase, das Gemisch, das der Destillation unterworfen werden soll, aufnimmt, und darauf bis zur Verdampfung der Flüssigkeit erhitzt wird. Die aufsteigenden Dämpfe werden sodann in den zweiten Theil (Vorlage oder

Recipient) geleitet, worin sie durch Abkühlung wieder in den flüssigen Zustand zurückkehren und herabtröpfeln. Die Abkühlung bewirkt man im Kleinen durch nasse Tücher, mit denen man die Vorlage umgiebt, im Grossen durch ein mit kaltem Wasser angefülltes Kühlfass, durch welches man die Dämpfe vermittelst eines Schlangenrohres führt. Unter allen Destillationen ist jene des Alkohols aus der sogenannten Meische am meisten ausgebildet.

Die Dampfheizung. Wegen der grossen Menge Wärme, welche die Dämpfe enthalten, wendet man dieselben sehr häufig zur Mittheilung an kältere Körper an. Die Temperatur der unter gewöhnlichen Umständen durch Wasserdämpfe erhitzten Körper kann nie über 100° steigen. Fabriken werden in England sehr allgemein durch Dampf geheitzt, indem man denselben in gusseisernen Röhren nach den Heizräumen leitet, an welche sie ihre Wärme durch Strahlung abgeben. Man benutzt die Wasserdämpfe ferner zum Trocknen von Zeug und Papier, zum Erhitzen von Wasser, zum Kochen der Nahrungsmittel u. s. w.

Die Dampfmaschine ist eine Maschine, in welcher der Dampf als bewegende Kraft wirkt, nnd von welcher die Bewegung auf andere mechanische Vorrichtungen übertragen wird. Allgemein wird dazu der Wasserdampf benutzt, weil die Dämpfe anderer Flüssigkeiten nicht mit Vortheil angewendet werden können. Um das Princip kennen zu lernen, nach welchem der Dampf Bewegung hervorbringen kann, denke man sich eine Glasröhre (Fig. 122) von ungefähr einem Zoll Durchmesser, welche an dem einen Ende zu einer Kugel ausgeblasen, an dem andern aber offen ist. Ein vollkommen genau an die Wände anschliessender Kork bildet den Stempel, der vermittelst eines Metalldrahtes höher oder tiefer gestellt werden kann. Bringt man ein wenig Wasser in die Kugel und erhitzt das Wasser bis es siedet, so wird der Stempel bis an das Ende der Röhre in die Höhe getrieben. Hierbei ist nun die Spannkraft des Dampfes die bewegende Kraft. Wenn man darauf den Dampf dadurch condensirt, dass man den Apparat in kaltes Wasser taucht, so ist der Druck im Innern geringer als der der atmosphärischen Luft, und letztere drückt den Kork wieder herunter, und zwar so weit, bis beide Kräfte einander gleich sind. Erhitzt man nun

Fig. 122.

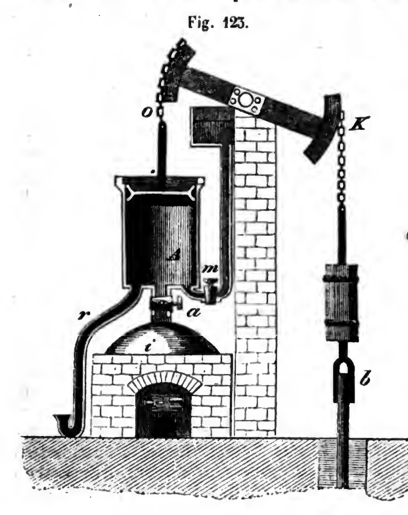


das Wasser von neuem und kühlt es dann ab, so wiederholt sich der ganze Vorgang. Man hat auf diese Weise eine allerdings nur langsam hin- und hergehende Bewegung des Korkes und des damit verbundenen Drahtes, welche Bewegung auf andere Maschinentheile übertragen werden kann.

Bei unsern Dampfmaschinen besteht der Cylinder aus Gusseissen und ist sehr genau gebohrt und ausgeschliffen. In ihm bewegt sich eine starke, dicke Metallplatte, der Kolben, in dessen Mitte eine dicke Eisenstange, die Kolbenstange, befestigt ist. Gewöhnlich ist die Kolbenstange mit ihrem freien Ende an dem Arme eines sehr starken zweiarmigen Hebels befestigt, an dem Balancier, der sich um seine Mitte wie ein Wagebalken bewegt, und von dessen anderem Ende die Bewegung vermittelst einer Leitstange weiter fortgeführt werden kann.

Die erste Anwendung, welche man von dem Dampfe als bewegende Kraft machte, bestand in dem Emporheben des Wassers vermittelst der atmosphärischen Maschine (Fig. 123). Der Kolben der Pumpe *b* steht mit dem Balancier in Verbindung, dessen anderes Ende mit dem Kolben des Cylinders *A* verbunden ist. Das Wasser wird in der Pumpe durch den Auf- und Niedergang des Kolbens gehoben. Das Spiel des Kolbens geht auf folgende Weise vor sich. Wenn man durch den Hahn *a* Dampf aus dem Kessel *i* in den Cylinder *A* treten lässt, so hebt sich der Kolben und der Balancier senkt sich vermöge des Gewichtes der Kette *K* auf die Seite. Ist der Kolben ziemlich bis an das obere Ende des Cylinders

Fig. 123.



angelangt, so schliesst man den Hahn *a* und öffnet den Hahn *m*, wodurch kaltes Wasser in den Dampfraum des Cylinders eingespritzt wird, dass den Dampf verdichtet, sodass ein luftleerer Raum entsteht, in Folge dessen der atmosphärische Druck auf den oberen Theil des Kolbens wirkt, weshalb der Kolben nebst der Kette *o* abwärts geht und die Pumpe gehoben wird. Das in den Cylinder gespritzte Wasser wird durch die Röhre *r* fortgeschafft. Man erhält auf diese Weise eine anhaltende Bewegung.

Bei den ersten derartigen Maschinen mussten die beiden Hähne *a* und *m* mit der freien Hand bewegt werden. Ein Knabe, Humphry Potter, welchem dieses Oeffnen langweilig erschien, verfiel auf den Gedanken, dies von der Maschine selbst besorgen zu lassen, und führte den Gedanken aus, indem er den Kopf des Hahnes mittelst Schnüren mit dem bewegten Mechanismus verband.

Diese atmosphärischen Maschinen waren aber sehr unvollkommen, bis Watt auf die Idee kam, die Condensation des Dampfes nicht mehr im Cylinder selbst, sondern in einem abgesonderten Behälter, dem Watt'schen Condensator, vorzunehmen, ferner anstatt der atmosphärischen Luft, durch den Dampf den Stempel in das Vacuum des Cylinders herabdrücken zu lassen, wodurch nach Verdichtung dieses Dampfes auch über dem Stempel ein Vacuum erzeugt werden kann.

Dampfmaschinen, die ohne Condensator arbeiten, nennt man Hochdruckmaschinen, im Gegensatze zu den Niederdruckmaschinen, bei denen Condensation der Dämpfe stattfindet. Letztere heissen auch Condensationsmaschinen. Solche arbeiten zwar auch zuweilen mit hochgespanntem Dampfe, gewöhnlich ist dies aber nicht der Fall, und der Dampf hat selten eine Kraft, die 1½ Atmosphäre übersteigt. In den meisten Fällen treibt der Dampf den Kolben abwechselnd nach beiden entgegengesetzten Richtungen; die auf diese Weise construirten Maschinen heissen doppelt-wirkende. In einzelnen Fällen wird aber auch der Kolben nur nach einer Richtung hin durch den Dampf bewegt, nach der anderen aber durch den atmosphärischen Druck und ein Gegengewicht getrieben; sie heissen einfach-wirkende.

Wenn man den Dampf während der ganzen Bewegung des Kolbens stets in gleicher Stärke in den Cylinder treten lässt, so muss nothwendiger Weise der Kolben sich beschleunigt bewegen, und bei der grössten Höhe und Tiefe die grösste Geschwindigkeit haben, also eben da, wo sich die eine Bewegung in die entgegengesetzte verwandeln soll. Eine solche Bewegung erst aufzuheben und dann in die entgegengesetzte zu verwandeln, erfordert weit mehr Kraft, als wenn der Kolben gegen das Ende der Bewegung

durch eine nach und nach ermässigte Kraft bewegt würde, sodass der nun eintretende Dampf nur eine unbedeutende Schwierigkeit fände, die Kolbenbewegung umzudrehen. Man erreicht dies einfach dadurch, dass man den Dampf nicht fortwährend in den Cylinder strömen lässt, bis der Kolben das Ende seiner Bahn erreicht hat, sondern dass man ihn früher absperrt und die fernere Kolbenbewegung durch seine Expansion bewirken lässt. In diesem Falle sagt man, die Maschine arbeitet mit Expansion. Die Expansion lässt sich am besten durch ein Beispiel erläutern.

Nehmen wir an, ein mit 100 Pfund belasteter Kolben könne dadurch, dass man den Cylinder mit Dampf von dem Drucke einer Atmosphäre füllt, einen Fuss hoch gehoben werden, so lässt sich eine gleich grosse Wirkung mit demselben Aufwand von Dampf erreichen, wenn man ein Viertel des Cylinders mit Dampf von einer Atmosphäre Spannkraft anfüllt und den Kolben mit 4000 Pfund belastet, welche dadurch einen Fuss hoch gehoben werden. Ist aber der Kolben einen Fuss hoch gehoben (siehe Fig. 124), so sperrt man den Zutritt des Dampfes aus dem Dampfkessel ab, und der Kolben wird dennoch durch die Expansion des unter ihm befindlichen Dampfes, aber mit abnehmender Kraft, in die Höhe geschoben. Hat der Kolben die Höhe von zwei Fuss, vom Boden des Kolbens an gerechnet, erreicht, so beträgt das Volumen des Dampfes das Doppelte, und seine Spannkraft ist zu zwei Atmosphären reducirt. In einer Höhe von drei Fuss hat der Kolben Dampf von $1\frac{1}{3}$ Atmosphäre, und in einer Höhe von vier Fuss Dampf von einer Atmosphäre unter sich nöthig.

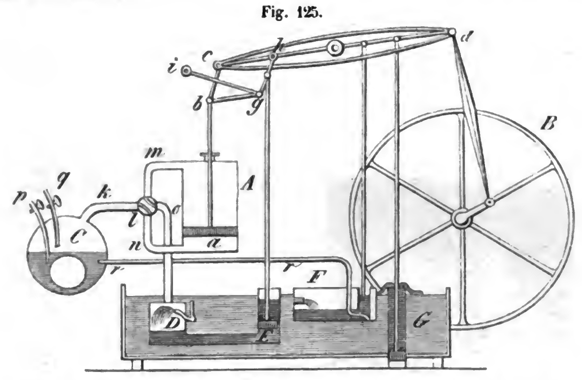
Fig. 124.



Eine Dampfmaschine ist entweder eine feststehende Landmaschine, oder eine solche, die sich selbst mit fortbewegen muss, und sie ist entweder eine Schiffs- oder eine Wagendampfmaschine (Locomotive). Stehende Maschinen können Hochdruckmaschinen oder Condensationsmaschinen sein; erstere wählt man stets, wo es für eine Condensationsmaschine an dem nöthigen Condensationswasser fehlt oder wo der überflüssige Dampf noch zweckmässig verwendet werden kann. Die verbreitetsten stehenden Maschinen sind doppelt wirkende Condensationsmaschinen mit niederem Druck, und doppelt wirkende Hochdruckmaschinen, beide mit

Expansion. Wir beschreiben im Folgenden in der Kürze eine Landdampfmaschine, eine Schiffsdampfmaschine und eine Locomotive.

Fig. 125.

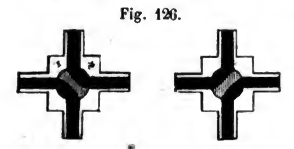


Eine Landdampfmaschine mit Condensation und doppelter Wirkung stellt Fig. 125 vor. Der cylindrische Dampfkessel *C* besteht aus zwei Cylindern, der eine in dem andern befindlich; der kleinere enthält das Feuer und der Raum zwischen beiden ist für das Wasser bestimmt. Wird das Wasser in dem Kessel erhitzt, so kommt der Dampf durch die Röhre *k* in den Cylinder *A*, und zwar entweder unter den Kolben *a* oder über denselben. An dem Kolben sitzt eine starke eiserne Stange *ab* fest, welche durch die Stopfbüchse luftdicht geht und ihre Bewegung dem Balancier *cd* mittheilt, durch welchen sie dann auf das Schwungrad *B* übertragen wird. Das Schwungrad hat die Bestimmung, durch seine grosse Schwungkraft Ungleichförmigkeiten im Gange der Maschine auszugleichen. Die Kolbenstange *ab* muss sich, da sie in eine Stopfbüchse läuft, nothwendiger Weise vollkommen senkrecht bewegen, da sie sonst abbrechen würde. Um diesen Zweck zu erreichen, ist die Kolbenstange nicht unmittelbar mit dem Balancier, sondern im Punkte *b* an eine eigenthümliche Vorrichtung *bghci*, das Watt'sche Parallelogramm, befestigt, das aus mehreren Parallelstäben besteht, und den Punkt *b* nöthigt, während der Balancier auf und nieder schwingt, sich in senkrech-

rechter Richtung auf und nieder zu bewegen. Wenn die Dämpfe aus dem Kessel durch die Röhre *k* in den Cylinder treten, so drücken sie den Kolben in die Höhe und die über demselben sich befindlichen Dämpfe entweichen durch *o* in den Condensator. Hat der Kolben im Cylinder seinen höchsten Stand erreicht, so wird dem Hahne *l* (dem Vierweghahn, siehe unten) von der Maschine selbst eine Viertelsdrehung gegeben, sodass die Röhren *k* und *m*, sowie die Röhren *n* und *o*, in Verbindung kommen; die Dämpfe gelangen dadurch über den Kolben und drücken ihn herab, während die unter demselben befindlichen Dämpfe durch die Röhren *n* und *o* in den Condensator entweichen. Sobald der Kolben seine tiefste Lage erreicht hat, wird der Hahn *l* in seine erste Stellung zurückgedreht, wodurch dasselbe Spiel sich erneuert. Der Condensator *D* ist ein unter Wasser stehender Behälter, in welchem kaltes Wasser durch den sogenannten Injectionshahn eingespritzt wird; dadurch wird eine Verdichtung des Dampfes bewirkt und ein leerer Raum erzeugt. Das im Condensator befindliche warme Wasser wird, nebst der mit dem Dampfe aus dem Cylinder in den Condensator gelangten Luft, durch die Luftpumpe *E*, deren Kolbenstange am Balancier befestigt ist, in die Warmwassercysterne *F* gepumpt, aus welchem das warme Wasser durch die Warmwasserpumpe oder Speisepumpe und die Röhre *rr* in den Kessel zurückgeführt wird. Eine andere Pumpe *G*, die Kaltwasserpumpe, schöpft kaltes Wasser aus einem nahen Brunnen in die Cisterne *G*. Alle diese Pumpen werden durch die Maschine selbst in Thätigkeit gesetzt.

Unter den Vorrichtungen, die ein abwechselndes Einströmen des Dampfes über und unter dem Cylinder bewirken, während zu gleicher Zeit der Dampf von der anderen Seite des Kolbens nach dem Condensator entweicht, ist der Vierweghahn zu erwähnen, nämlich ein Hahn mit doppelter Bohrung (Fig. 126), die je nach ihrer Stellung den Dampf über oder unter den Kessel treten lässt. Diese Art der Steuerung ist wenig mehr gebräuchlich und fast allgemein durch die Schlittensteuerung verdrängt, bei welcher ein Schieberventil die Verbindung abwechselnd herstellt und aufhebt.

Fig. 126.



Der Dampfkessel *C* (Fig. 125) ist ungefähr bis zu zwei Drittheilen mit Wasser angefüllt. Vermittelst der Röhren *p* und *q* überzeugt man sich von dem gehörigen Stande des Wassers. Zwei enge messingene Röhren sind in dem Deckel des Kessels eingelöthet. Die eine *p*, die Wasserröhre, hat ihre untere Mündung nahe unter der Oberfläche des Wassers; die andere *q*, die Dampfröhre

genannt, hat ihre Mündung nahe über derselben Wasserfläche. Oeffnet man den Hahn der Röhre p, so muss zu der Röhre Wasser herausspritzen, während beim Oeffnen des Hahnes der Röhre q Dampf herausdringen muss. Geben beide Röhren Dampf, so ist zu wenig Wasser, geben beide Wasser, so ist zu viel vorhanden. Ebenso bringt man ein langes Rohr an, das durch den Deckel bis ein wenig unter den Normalstand des Wassers reicht. Das andere Ende enthält eine Pfeife. Solange noch Wasser genug im Kessel ist, steht das Wasser hoch in der Röhre, bis sein hydrostatischer Druck dem des Dampfes gleich ist. Sinkt der Wasserspiegel bis unter das Rohr, so läuft das Wasser aus ihm in den Kessel und der Dampf entweicht laut pfeifend.

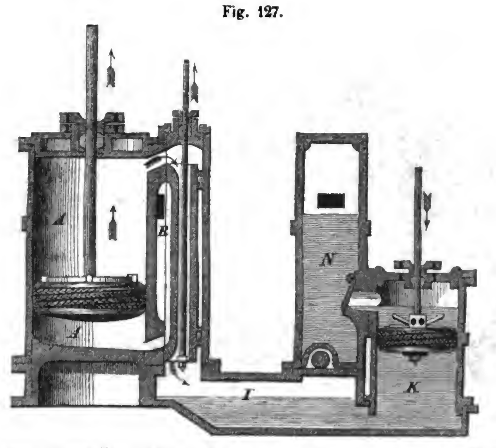
Um die Spannung der Dämpfe im Kessel zu messen, befestigt man an der Seitenwand desselben eine heberförmig gebogene offene Glasröhre, in welche Quecksilber gefüllt, und die mit einer getheilten Scala versehen ist. Der Dampf drückt auf der einen Seite das Quecksilber nieder und dies steigt in dem andern Schenkel. Der Unterschied beider Höhen giebt den Druck. Dieser Apparat heisst ein Quecksilbervisir oder Manometer. Bei Hochdruck verdichtet man auch die Luft durch den Dampfdruck und findet in der Verdichtung das Mass.

Zur Verhütung zu hoher Spannung der Dämpfe wendet man Sicherheitsventile an, welche gewöhnlich aus in den Deckel des Kessels eingelassenen und mit soviel Gewicht beschwerten Kegelventilen bestehen, dass die Dämpfe es zu ihrer Befreiung emporheben, sobald sie übermässig stark geworden sind. Das Sicherheitsventil ist gewöhnlich mit einem Hebel verbunden, an dessen Arme ein verschiebbares Gewicht hängt.

Jede Dampfmaschine hat einen Widerstand zu überwältigen, der sich aber nicht gleich bleibt. Vermindert er sich, so wird die Maschine schneller arbeiten, vermehrt er sich, langsamer. Um Gleichförmigkeit zu erzielen, bringt man einen Regulator an, das conische Pendel. An einer senkrechten Axe sind zwei Stangen an einem Zapfen befestigt, um welchen sie sich mit Leichtigkeit bewegen lassen, so dass sie eben so gut frei herabhängen, als auch in andere Lagen gegen die andere Axe gebracht werden können. An dem oberen Ende jeder Stange hängt eine schwere Metallkugel. Das conische Pendel ist vermittelst einer Schnur mit der Axe des Schwungrades verbunden. Fängt nun die Maschine an schneller zu arbeiten, so dreht sich das Schwungrad schneller, mit ihm das conische Pendel, und die Kugeln entfernen sich wegen der vermehrten Schwungkraft weiter von der Axe, wodurch eine Klappe so zugedreht wird, dass weniger Dampf in den Cylinder gelangt, wodurch die Bewegung sich mässigt, und so umgekehrt. Das conische Pendel dient also dazu, den Dampfzufluss zu reguliren.

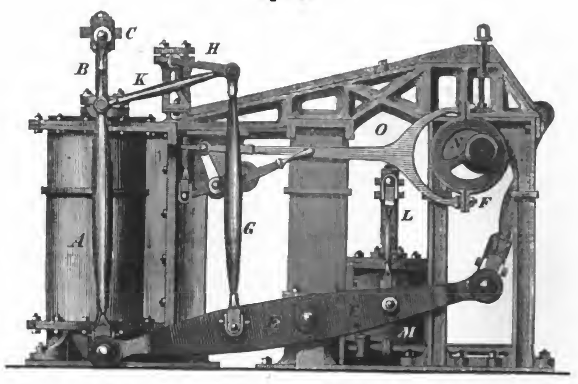
Die Schiffsdampfmaschinen sind gewöhnlich Niederdruckmaschinen mit doppelter Wirkung. Der Kessel einer Schiffsmaschine muss so construirt sein, dass er nicht eingemauert zu werden braucht. Diese Maschinen haben entweder einen Balancier, oder es wirkt bei ihnen die Kolbenstange unmittelbar auf die Welle, an welcher die Schiffsräder befindlich sind. Fig. 127 stellt eine solche Maschine im Durchschnitte dar; sie ist im Wesentlichen

Fig. 127.



genau nach denselben Principien construirt, wie die oben betrachtete Maschine. Der Dampf des Kessels gelangt durch eine Röhre in den Raum *R*, der sich neben dem Kessel befindet, und aus diesem Raume abwechselnd über und unter den Kolben des Cylinders *A*. Das abwechselnde Einströmen wird durch ein Schieberventil bewirkt; der austretende Dampf entweicht nach dem Condensator *I*. Das in demselben verdichtete Wasser wird durch die Pumpe *K* nach der Cisterne *N* geschafft, aus welcher es sodann abfliesst. Fig. 128 zeigt uns eine solche Maschine, von der Seite gesehen. Die Kolbenstange *B* des Cylinders *A* ist mittelst eines horizontalen Querstückes *C* und einer verticalen beweglichen Stange *D* mit dem Balancier *E* verbunden. Da zwei Maschinen wirken, so befindet sich auf jeder Seite ein Balancier; beide drehen sich um dieselbe Axe. Der Balancier wirkt am anderen Ende mittelst der Triebstange *F* auf die Kurbel ein, und vermittelst dieser auf die Wasserräder, welche das Schiff in Bewegung setzen. Durch die Stangen *G*, *H* und *K* wird die parallele Bewegung der Kurbelstange gesichert, durch *L* die Pumpe *M* bewegt. Die excentrische Scheibe *N* bezweckt, dass durch die Gabelstange *O* die Steuerung bewegt werde.

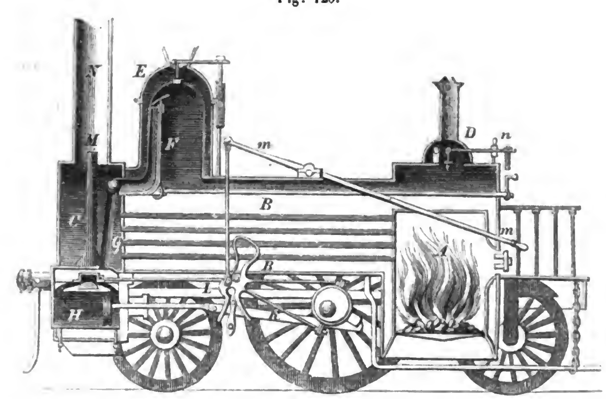
Fig. 128.



Bei kleinen Maschinen, die keine grossen Lasten zu bewegen haben, hängt man oft den Cylinder an zwei Seitenzapfen in der Mitte seiner Höhe auf, sodass er selbst sich mit der Kolbenstange nach links und rechts wendet. Man nennt solche Maschinen oscillirende.

Die Locomotive, wie sie auf den Eisenbahnen Anwendung findet, ist eine der bekanntesten Hochdruckmaschinen mit doppelter Wirkung. Fig. 129 stellt den Längendurchschnitt einer Locomotive dar, aus welcher sich die Einrichtung leicht ersehen lässt. Eine Locomotive ruht auf sechs Rädern, von welchen die grösseren die Triebräder sind, welche die übrigen mit sich fortführen Den ganzen anderen Theil nimmt der Kessel ein. *A* ist der Feuerraum, *B* der Wasserbehälter; aus dem Feuerraum steigen die Flammen nebst der erhitzten Luft durch eine grosse Anzahl von Feuerröhren durch den Wasserbehälter in den Rauchkasten *C*. Zur Sicherheit des Kessels sind ein oder mehrere Ventile *D* vorhanden. Dort, wo der Dampf aus dem Cylinder in den Kessel geführt wird, befindet sich eine Erhöhung *E*, in welche das Dampfrohr *F* hineinragt. Diese Erhöhung hat die Bestimmung, den Dampf von dem im Aufwallen begriffenen Wasser zu sondern. Durch *F* und *G* gelangt der Dampf in den Cylinder *H* und bewegt den Kolben und die Kolbenstange, welche Bewegung durch die Kurbelstange *K* auf die Treibröhre übertragen wird. Die Doppelgabel *L* dient dazu, um

Fig. 129.



vermittelst des Hebels m nach Belieben vorwärts und rückwärts fahren zu können. Der entweichende Dampf gelangt durch das Rohr M in den Schornstein N. Durch einen jeden Hin- und Hergang des Kolbens wird eine Umdrehung der Triebräder bewirkt, der Wagen kommt daher um eine Strecke weiter, welche dem Umfange der Triebräder gleich ist. Die Geschwindigkeit der Bewegung ist abhängig von der Menge des Dampfes, die in jedem Augenblicke in die Maschine tritt. Der Locomotivführer, der sich hinter dem Feuerkasten befindet und hinter sich den Tender, einen mit Brennmaterial und Wasser versehenen Wagen, hat, kann von seinem Platze aus die Bewegung der Maschine reguliren. Bei n befindet sich ein Pfeifchen, das zu Signalen dient.

Die Wirkung einer Dampfmaschine ist abhängig von der Wassermenge, die in einer gegebenen Zeit im Kessel in Dampf verwandelt wird; die Grösse derselben lässt sich berechnen, wenn man die Spannkraft des Dampfes im Cylinder und Condensator und die Fläche des Kolbens kennt, auf welche der Dampf seinen Druck ausübt. Nehmen wir an, die Fläche des Kolbens sei = 1 Quadratcentimeter, die Höhe des Cylinders = 10 Decimeter, so ist der Inhalt des Cylinders = 10 Litern (oder 10 Kubikdecimetern). Angenommen, der Dampf habe eine Spannkraft von 1 Atmosphäre,

so beträgt der Druck auf jedes Quadratcentimeter der Kolbenfläche ungefähr 1 Kilogramm, und der Totaldruck auf den ganzen Kolben 100 Kilogramme. Wären demnach keine Hindernisse der Bewegung vorhanden, so würde ein Gewicht von 100 Kilogrammen 10 Decimeter hoch gehoben werden, wenn man 10 Liter Wasserdampf von 100° in den Cylinder bringt. Da nun ein Liter Wasser 1700 Liter Wasserdampf von 100° erzeugt, so kann man mit dieser Menge Dampf eine Wirkung hervorbringen, welche der Hebung von 17000 Kilogrammen auf eine Höhe von 10 Decimetern äquivalent ist. Das Mass der Wirkung einer Dampfmaschine wird gewöhnlich nach Pferdekräften bestimmt (vergl. S. 55). Da aber bei einer Maschine nicht das Wasser, sondern das Brennmaterial in Betracht kommt, so ist es nur nöthig zu wissen, wie viel Brennmaterial verbraucht wird, um eine bestimmte Wirkung zu erzielen. Für Watt'sche Maschinen hat man folgende Verhältnisse zwischen der Consumtion der Steinkohlen und den Nutzeffect gefunden:

Pferdekräfte.	Verbrauch von Steinkohlen in einer Stunde.
1	20
2	31
10	100
20	166
100	555
200	1100

Dampfgeschütz. Man hat die expandirende Kraft der Wasserdämpfe statt der comprimirten Luft zum Fortbewegen von Projectilen angewendet und Dampfgeschütze construirt, die aber, weil solche Geschütze. besonders von grösserem Kaliber, nur feststehend Dienste leisten können, niemals eine ausgedehnte praktische Anwendung finden werden.

Die Aeolipile oder Dampfkugel besteht aus einer Hohlkugel von Kupfer mit zwei Oeffnungen; in der einen befindet sich eine mit enger Oeffnung versehene Röhre; die andere ist kegelförmig ausgeschliffen und mit einem abgestumpften Metallkegel verschlossen, der durch eine elastische Feder angedrückt wird. Dieser Kegel dient als Sicherheitsventil. Wenn man in diese Kugel etwas Wasser bringt und dasselbe bis zum Sieden erhitzt, so strömen die Dämpfe mit Gewalt aus der Oeffnung der Röhre hervor. Benutzt man anstatt des Wassers Alkohol und leitet man den ausströmenden Dampfstrahl durch eine Spiritusflamme, so wird er entzündet und bildet einen langen brennenden Dampfstrahl, in welchem man Glasbläserarbeiten und einige chemische Operationen verrichten kann.

Achter Abschnitt.

Von der Bewegung tropfbarer und gasförmiger Körper (*Hydrodynamik* und *Aerodynamik*).

I. Die Hydrodynamik handelt von den Bewegungsgesetzen tropfbarflüssiger Körper. Bringt man in die Seitenwand oder in den Boden eines mit irgend einer Flüssigkeit gefüllten, oben offenen Gefässes eine kleine Oeffnung an, so strömt die Flüssigkeit mit einer um so grösseren Geschwindigkeit aus, je tiefer sich die Oeffnung unter dem Niveau der Flüssigkeit befindet. Der Zusammenhang zwischen der Druckhöhe und der Ausflussgeschwindigkeit wird durch ein Theorem ausgedrückt, welches unter dem Namen des Toricelli'schen bekannt ist. Nach diesem Theorem ist ***die Ausflussgeschwindigkeit genau so gross, wie die Geschwindigkeit, die ein freifallender Körper erlangen würde, wenn er von dem Niveau der Flüssigkeit bis zur Ausflussöffnung herabfiele.***

Wenn man einen kleinen Körper in die Flüssigkeit bringt, so nimmt derselbe die Bewegung der Flüssigkeit an und fällt vertical mit einer Geschwindigkeit herab, die für alle Theilchen der horizontalen Schicht dieselbe ist; in der Nähe der Oeffnung nur nimmt der Körper eine geneigte Richtung an und behält dieselbe auch ausserhalb des Gefässes noch bei. Daraus folgt eine **Zusammenziehung** des herausfliessenden Flüssigkeitsstrahles, die in einer gewissen Entfernung ihren grössten Werth erreicht und dann constant bleibt. Die Oberfläche des Wassers bleibt während des Sinkens ebenfalls horizontal, nur in der Nähe der Oeffnung fängt das Wasser an, eine trichterförmige Vertiefung (einen Strudel) zu bekommen, welche ebenfalls von einer Seitenbewegung der Theile der Flüssigkeit in der Nähe der Oeffnung herrührt.

Die Ausflussgeschwindigkeit ist nur abhängig von der Tiefe der Oeffnung unter dem Spiegel. Die Flüssigkeit und die Ausflussgeschwindigkeiten verhalten sich wie die Quadratwurzeln der Druckhöhen.

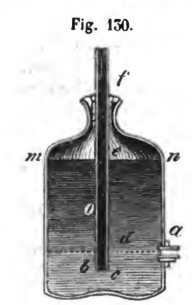
Bei einer gleichen Druckhöhe wird also Wasser und Quecksilber mit gleicher Geschwindigkeit ausfliessen, obgleich das letzere 13,5 mal schwerer als das Wasser ist; aus einer Oeffnung ferner, die 100 Zoll unter dem Niveau der Flüssigkeit liegt, wird also das Wasser zehn mal schneller ausströmen, als aus einer anderen, die nur 1 Zoll unter dem Wasserspiegel liegt.

Die Zusammenziehung einer ausfliessenden Flüssigkeitssäule hat darin ihren Grund, dass nicht nur das verticale, über der Oeffnung stehende Wasser ausfliesst, sondern dass sich auch das seitwärts befindliche zur Oeffnung drängt. Die Grösse der Contraction des ausfliessenden Strahles ist theilweise abhängig von der Grösse der Ausflussöffnung und der Druckhöhe, vorzüglich aber von der Dicke des Bodens.

Ist der Wasserstrahl in horizontaler Richtung aus der Oeffnung herausgetreten, so muss derselbe eine Bewegung annehmen, welche mit der eines horizontal geworfenen Körpers übereinkommt, da die Schwere den Strahl von der horizontalen Richtung ablenkt. Der Wasserstrahl beschreibt demnach eine Parabel, deren Gestalt von der Ausflussgeschwindigkeit abhängig ist. — Tritt ein Wasserstrahl in verticaler Richtung aus einer Oeffnung hervor, so sollte derselbe mit einer der Druckhöhe entsprechenden Geschwindigkeit in die Höhe steigen und sich bis zum Spiegel der Flüssigkeit erheben. Der Widerstand der Luft, sowie die Reibung und der Druck der vom Gipfel der Säule herabfallenden Tropfen wirken aber entgegen, so dass der Strahl stets höher steigen wird, wenn er nicht vertical in die Höhe steigt.

Um zu erzielen, dass Wasser aus einem Gefässe mit constanter Geschwindigkeit herausfliesse, benutzt man die Mariotte'sche Flasche (Fig. 130), die in einiger Entfernung vom Boden an der Seite eine Ausflussröhre *a* hat, durch deren Hals eine offene Röhre *bf* luftdicht hindurch geht, so dass sie beliebig in die Höhe gezogen und hinabgedrückt werden kann. Ist nun die Flasche, sowie die Röhre bis *mn* mit Flüssigkeit gefüllt und das untere Röhrenende steht tiefer in der Flüssigkeit, als die Seitenöffnung *a*, so fliesst die Flüssigkeit bei *a* so lange aus, bis sie in der Röhre bis zu dem Punkte *d* angelangt ist, wo das Ausfliessen aufhören muss, weil dann der auf *a* und auf die Oberfläche der Flüssigkeit in *d* wirkende Druck der über *a* und *d* befindlichen Flüssigkeitsmasse und Expansivkraft der im Raume *e* enthaltenen Luft das Gleichgewicht hält. Sobald man aber die Röhre so weit in die Höhe zieht, dass ihr unteres Ende über *a*, also z. B. bei *o* steht, so beginnt das Ausfliessen der Flüssigkeit von neuem, während Luftblasen durch das Wasser in den oberen Theil des Gefässes steigen. Dies Ausfliessen dauert so lange fort, bis die Flüssigkeitsoberfläche in der Flasche bei *a* angelangt ist.

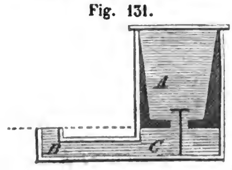
Fig. 130.



Es ist hierbei zu beachten, dass das Wasser aus der Oeffnung *a* durch den zum Gleichgewicht fehlenden Druck einer Wassersäule von der Höhe, in welcher das Ende des Rohres über *o* steht, folglich durch eine von dem Niveau der Flüssigkeit in der Flasche unabhängige Kraft herausgetrieben wird, also stets mit gleicher Geschwindigkeit ausfliesst, weshalb die Mariotte'sche Flasche manche Anwendung findet. Wir erwähnen hier nur die zur Schwefelsäurefabrikation.

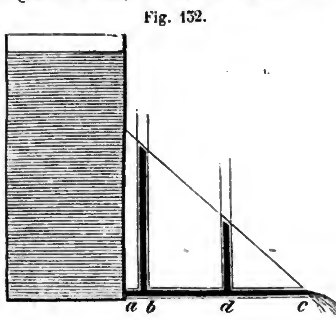
Auf demselben Principe beruht auch die Einrichtung des Fig. 131 dargestellten Apparates, in welchem zwei Gefässe *B* und *C* mit einander communiciren; bringt man in das eine der beiden Gefässe einen Cylinder *A*, der an seinem unteren Theile geöffnet ist, so wird die in demselben befindliche Flüssigkeit herausfliessen und die beiden Gefässe *B* und *C* anfüllen. Die atmosphärische Luft tritt durch eine Oeffnung ein und füllt das Gefäss *A* in dem Masse an, als daraus Flüssigkeit entweicht. Das Ausfliessen der Flüssigkeit wird aber aufhören, sobald der untere Theil des Gefässes *A* mit dem Niveau der Flüssigkeit in Berührung kommt. Auf diese Weise findet ein fortwährendes Nachfliessen statt. Man benutzt diesen Apparat bei Lampen mit hohem Oelbehälter; ferner bedient man sich eines ähnlichen in der analytischen Chemie, um Niederschläge auszuwaschen.

Fig. 131.



Seitendruck bewegter Flüssigkeiten. Wenn irgend eine Flüssigkeit aus einem Gefässe durch eine horizontale Röhre abfliesst, so sollte die Flüssigkeit in dieser Röhre eine Geschwindigkeit haben, welche der Höhe des Flüssigkeitsspiegels entspricht. Ein grosser Theil dieser Geschwindigkeit geht aber durch Reibungswiderstände verloren, und dieser Verlust ist um so grösser, je länger und enger die Röhre ist. Wenn in der Röhre *ac* (Fig. 132) die Flüssigkeit sich mit der Geschwindigkeit bewegte, welche der Druckhöhe im Gefässe entspricht, so würden die Röhrenwände keinen Druck auszuhalten haben. Entspricht aber der Bewegung der Flüssigkeit in der Röhre nur ein Theil der

Fig. 132.



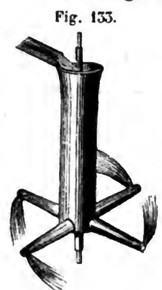
Druckhöhe, so muss das Uebrige als hydostatischer Druck auf die Röhrenwände wirken. Dieser Druck nimmt aber ab, je mehr man sich der Ausflussöffnung nähert. Macht man bei dem Punkte *b* der Ausflussöffnung eine Oeffnung, in welche man vertical eine Glasröhre setzt, so muss in derselben die Flüssigkeit bis zu einer Höhe steigen, welche dem hydrostatischen Drucke an dieser Stelle entspricht. In der Mitte der Ausflussröhre *ac*, bei *d*, würde die Flüssigkeit in einer Röhre *ed* nur halb so hoch steigen, als in *a* u. s. w.

Wenn eine Flüssigkeit aus einem Gefässe durch ein enges Röhrchen ausfliesst, dessen Wände nicht benetzt werden, so hört bei einer gewissen Verminderung der Druckhöhe das Ausfliessen ganz auf, da der convexe Meniskus, der sich im Innern der Röhre bildet, auf die Flüssigkeitssäule einen Druck ausübt, der, sobald derselbe grösser als der Druck der Flüssigkeit im Gefässe ist, das Ausfliessen verhindern muss.

Reactionen, durch das Ausströmen von Flüssigkeiten bewirkt. In einem mit Wasser gefüllten Gefässe bleibt Alles in Ruhe, weil jeder Druck durch einen vollkommen gleichen, aber entgegengesetzten aufgehoben wird. Wird aber die Wand an irgend einer Stelle durchbohrt, so fliesst das Wasser daselbst aus und der Druck ist an dieser Stelle hinweggenommen, während das der Oeffnung diametral gegenüberliegende Stück der Wand noch genau denselben Druck auszuhalten hat, wie vorher. Das Gefäss wird sich daher in der Richtung dieses Druckes oder in der entgegengesetzten Richtung des ausfliessenden Wassers fortbewegen müssen.

Dies zeigt auch die Erfahrung am Segner'schen Rade (Fig. 133), das aus einem verticalen cylindrischen Gefässe besteht, um eine verticale Axe beweglich ist und unten mehrere, gleichsam die Speichen eines Rades bildende Ausflussröhren hat. Das durch diese Röhren aus dem Cylinder fliessende Wasser bewirkt die Bewegung des Apparates nach einer Richtung, welche der des ausfliessenden Wassers entgegegesetzt ist. Dieses Rad giebt aber eine zu geringe bewegende Kraft, um dasselbe zum Betriebe einer Mehlmühle in Anwendung bringen zu können.

Fig. 133.



Eine ähnliche Einrichtung zeigt das Althaus'sche Reactionsrad (Fig. 134). *AB* ist eine Röhre, durch welche das Druckwasser nach dem Röhrensysteme *R* geleitet wird. Die Ueber-

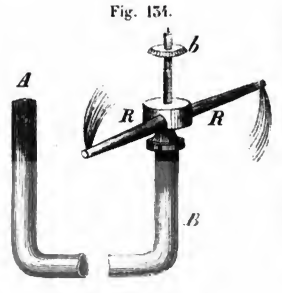


Fig. 134.

tragung der bewegenden Kraft des Rades *R* auf die in Bewegung zu setzende Maschine geschieht mittelst der Axe *b*. Ein solches Rad treibt z. B. bei Coblenz eine Lohmühle.

Das Reactionsrad Whitelaw's oder die schottische Turbine wird ebenfalls durch den Seitendruck des Wassers in Bewegung gesetzt. Fig. 135 zeigt uns den Durchschnitt eines solchen Rades. *A* ist ein geschlossener Cylinder, von welchem zwei oder mehrere krumme Röhren *B* ausgehen, die nach *C* und *D* zu immer enger werden. Der Cylinder kann sich nebst den Röhren an dem oberen Ende des Zuflussrohres *E* drehen.

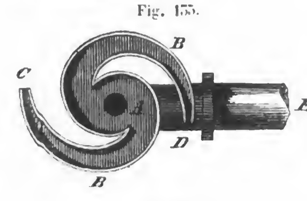


Fig. 135.

Das Fourneyron'sche Kreiselrad oder die französische Turbine spielt in der neuesten Zeit eine ausserordentlich wichtige Rolle. Dieses Rad, das Fig. 136 in theilweise perspectivischer Ansicht zeigt, besteht aus einer gusseisernen, tellerförmigen Scheibe, an deren horizontalem Kranze gekrümmte Blechschaufeln horizontal aufgesetzt, an ihrem oberen Rande durch einen Blechring festgehalten und zu gleicher Zeit bedeckt sind, so dass gekrümmte Canäle *ii* entstehen, durch welche das am inneren Umfange eintretende Wasser ausfliessen kann. Das Rad ist an der horizontalen Axe *c* befestigt; um dieselbe herum befinden sich verticale und krumme Blechschaufeln, welche die Bestimmung haben, das Wasser

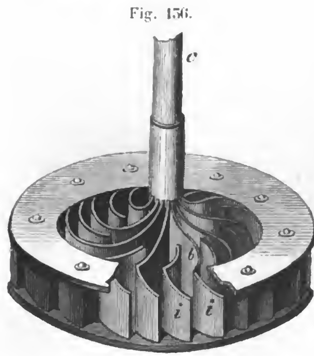


Fig. 136.


Fig. 137.

in die Canäle zu leiten und dessalb Leitcurven genannt werden. Das Rad bewegt sich entweder in der Luft oder im Wasser, und seine Bewegung wird auf die zu bewegende Maschine vermittelst der Axe *c* übertragen.

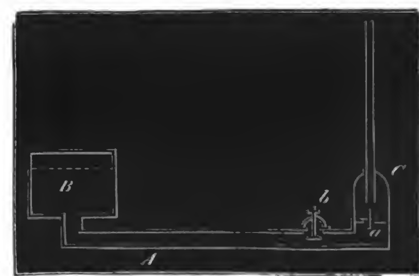
Die oberschlächtigen Wasserräder (Fig. 137), bei welchen das Wasser nur durch sein Gewicht wirkt, gehören ebenfalls hierher.

Vom Druck und Stoss des fliessenden Wassers. Wenn fliessendes Wasser eine Geschwindigkeit hat, welche der Druckhöhe entspricht, so übt es auf den Behälter keinen Druck aus; wird aber die Geschwindigkeit kleiner, so entsteht ein Druck von innen nach aussen, bei vergrösserter Geschwindigkeit von aussen nach innen. Man ist deshalb im Stande, bei einem Gefässe, welches fliessendes Wasser enthält, durch Aufheben, Verringern oder Vergrössern der Geschwindigkeit des Ausflusses den Druck auf die Gefässwände, der Richtung nach umkehren, vergrössern oder verringern zu können.

Aus dem eben Angeführten geht hervor, dass, wenn fliessendes Wasser ganz oder zum Theil angehalten wird, dasselbe auf die Wände der Leitung einen grösseren Druck ausübt, als während seiner früheren Bewegung, oder im Allgemeinen, dass der hydrostatische Druck (der Druck des ruhenden Wassers) stets grösser ist, als der hydrodynamische (der Druck des sich bewegenden Wassers).

Auf der Veränderung des fliessenden Wassers beruht der von Montgolfier construirte Stossheber oder hydraulische Widder (Fig. 138). Derselbe besteht aus einer langen, horizontalen Röhre *A*, die mit einem höher gelegenen Wasserreservoir *B* in Verbindung steht, am anderen Ende aber sich in einen Heronsball *C*, vermöge der Klappe *a* endigt. Ausserhalb des Herons-

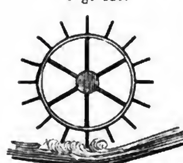
Fig. 138.



balles befindet sich ein zweites Ventil *b*, das sich nach einwärts, und zwar durch sein eigenes Gewicht, öffnet. Sobald nun Wasser vom Behälter *B* in die Röhre *A* fliesst, hebt es die Klappe *b* und schliesst sie; der hydrodynamische Druck geht dadurch in einen hydrostatischen über, und das Wasser öffnet die Klappe *a*, wodurch die Luft im Heronsballe condensirt wird. Dabei geht das Wasser durch die erlangte Geschwindigkeit weiter, als zum Gleichgewicht erforderlich ist. Deshalb geht das Wasser in der Röhre wieder nach dem Gefässe zurück, schliesst das eine Ventil und öffnet das andere, und dringt zum zweiten Male in das Gefäss und fängt an in die Höhe zu springen.

Der hydraulische Widder wird als Wasserhebmaschine vorzüglich benutzt, wenn es sich darum handelt, eine beträchtliche Wassermenge auf eine verhältnissmässig geringe Höhe zu heben; diese Maschine ist besonders zum Bewässern der Wiesen aus einem Bache geeignet.

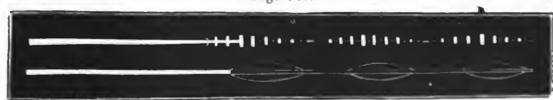
Fig. 139.



Auf dem Stosse des Wassers beruht ferner die Wirkung der **unterschlächtigen Wasserräder** (Fig. 139).

Die Constitution des ausfliessenden Strahles. Wenn man einen Wasserstrahl auf seinem Laufe verfolgt, so findet man, dass derselbe aus zwei wohl zu unterscheidenden Theilen besteht. Der eine Theil, welcher der Oeffnung zunächst liegt, ist ruhig und durchsichtig, wie ein massiver Glasstab, der andere entferntere Theil aber erscheint zerrissen, und besteht aus einer Anzahl, durch gleiche Zwischenräume getrennter Anschwellungen. Nach Savart's Untersuchungen ist dieser Theil des Strahles (Fig. 140) aus einer Reihe von Tropfen dergestalt zu-

Fig. 140.



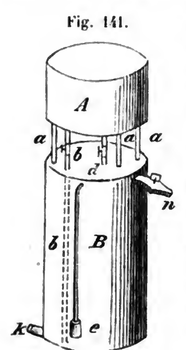
sammengesetzt, dass die Anschwellungen (Bäuche) aus breiten, in horizontaler Linie ausgebreiteten Tropfen, die gleichen Zwischenräume (Knoten) aber aus schmalen, in verticaler Richtung verlängerten Tropfen bestehen. Die Bäuche und Knoten haben eine unveränderliche Stellung, so dass ein und derselbe Tropfen abwechselnd breit und lang werden muss, je nachdem er sich an der Stelle eines Knotens oder eines Bauches befindet.

II. Die Aerodynamik handelt von den Bewegungsgesetzen ausdehnsamer Körper. Die Gesetze selbst sind den für tropfbare Körper aufgestellten in vieler Beziehung ähnlich, im Ganzen aber schwieriger zu entwickeln.

Wenn ein Gas in einem Gefäss eingeschlossen ist, in dem irgend eine Oeffnung angebracht ist, so wird das Gas durch diese Oeffnung ausströmen, sobald das Gas in dem Gefässe comprimirt wird. Diejenigen Apparate, die man benutzt, um ein constantes Ausströmen von Gasen zu unterhalten, nennt man, wiewohl uneigentlich, Gasometer.

Der in den chemischen Laboratorien zum Aufsammeln der Gase angewendete Gasometer besteht aus einem kürzeren cylindrischen Gefässe *A* (Fig. 141), das oben offen und mittelst dreier Ständer *a*, *a*, *a* auf dem unteren längeren Cylinder ruht. Zwei mit Hähnen versehene Röhren *b* und *d*, von denen die erstere *b* fast bis auf den Boden herabreicht, setzen *A* mit *B* in Verbindung; *k* stellt ein kurzes, weites Rohr vor, auf welches ein Deckel luftdicht aufgeschraubt wird; *n* endigt in eine feine Spitze und *e* ist eine gläserne, eingekittete Röhre. Soll das Gasometer mit Gas angefüllt werden, so muss *k* geschlossen, *b* und *d* aber offen sein. *B* wird mit Wasser angefüllt. Nachdem dies geschehen, verschliesst man *b* und *d*, öffnet dagegen *k* und lässt das aufzufangende Gas eintreten. Ist das Gasometer ganz mit Gas angefüllt, so schraubt man *k* zu und füllt *A* mit Wasser. Will man das Gas in einem constanten Strome ausströmen lassen, so verschliesst man *d*, öffnet aber *b* und *n*. Hat die Glasröhre eine Eintheilung, so kann man auch zugleich die Gasmenge messen und so den Gebrauch des Gasometers mit seinem Namen in Einklang bringen.

Fig. 141.



Die grossen Gasometer, welche man zum Aufsammeln des Leuchtgases in den Gasbeleuchtungsanstalten verwendet, sind nach einem andern Principe construirt. Dieser Gasometer (Fig. 142) besteht aus einem, aus zusammengenieteten Blechtafeln gebildeten, oben geschlossenen Cylinder *C* (der Trommel), der an einer Kette hängt, die über Rollen geht, an deren zweiten Ende ein Gegengewicht *G* hängt. Dieser Cylinder taucht mit seinem offenen Ende in ein grosses, mit Wasser gefülltes Reservoir (das

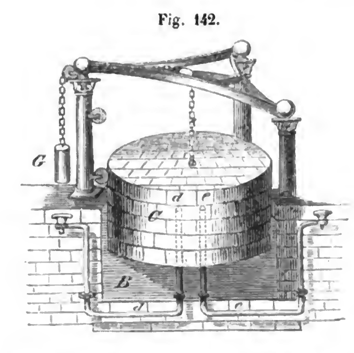
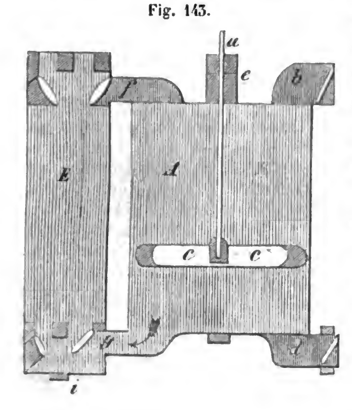


Fig. 142.

Bassin) *B*. Das Innere des Gasometers communicirt nach aussen hin nur durch die Zuflussröhre *d* und die Abflussröhre *e*. Ist die Röhre *e* geschlossen, der Hahn von *d* aber geöffnet, so wird der Gasometer langsam steigen. Das Umgekehrte findet bei dem Entleeren statt, wobei durch den Druck des Gasometers das Gas durch die Röhre *e* nach den Consumtionsorten hingeleitet wird.

Dass ein Luftstrom von einiger Stärke das Feuer anfacht und die erhitzende Wirkung desselben vermehrt, ist eine der ältesten chemischen Erfahrungen, welche schon in der frühesten Zeit auf die Erfindung des Blasebalges leitete. Die ersten Blasebälge bestanden aus einem aus Thierbalge gefertigten Sacke, durch dessen abwechselnde Ausdehnung und Zusammendrückung man ein stossweises Ausströmen der Luft bewirkte. Aus dieser einfachen Vorrichtung entstanden später die ledernen und hölzernen Blasebälge, bis jetzt die Cylindergebläse und die Ventilatoren, alle unvollkommenen Gebläse zu verdrängen anfangen. Wir führen von diesen Gebläsen die Cylindergebläse (Fig. 143) an. In dem gusseisernen Cylinder *A*, in welchem sich ein Kolben *c c* auf und nieder bewegt, geht die Kolbenstange *a* luftdicht durch die Stopfbüchse *e*; durch *b* und *d* communicirt der Cylinder mit der freien Luft, durch *f* und *g* aber mit dem Kasten *E*; darin angebrachte Klappen be-

Fig. 143.



wirken durch Schliessen und Oeffnen die Füllung des Kastens *E* mit Luft. Durch ein bei *i* angebrachtes Rohr strömt sie in den Feuerraum des Ofens. Zum Reguliren des Gebläses benutzt man einen grossen, aus Eisenblech luftdicht zusammengenieteten Ballon (Regulator), in welchem man die Luft aus dem Kasten *E* treten lässt. Dieser Ballon oder Regulator ist unten durch Wasser abgesperrt und ist wenigstens 50 mal grösser als der Rauminhalt des Gebläsecylinders; dadurch wird es möglich, dass, ungeachtet der ungleichförmigen Bewegung des Kolbens ein gleichförmiger Luftstrom erzielt wird.

Man benutzt die Gebläse vorzugsweise bei den Schachtöfen (z. B. den Eisenhohöfen). Die Wirkung, welche die in einen Schachtofen strömende, comprimirte Gebläseluft — der Wind — hinsichtlich des aus dem Brennmateriale entwickelten Wärmequantums und Wärmegrades hervorbringt, besteht in einer Steigerung des ersteren und letzteren. Unter die Gebläsevorrichtungen, deren man sich bedient, um bei Schmelzungen im Kleinen sehr hohe Hitzgrade zu erzeugen, gehört auch das Löthrohr.

Die Bewegung der Gase in Röhrenleitungen geht im Allgemeinen nach denselben Gesetzen vor sich, welche für tropfbarflüssige Körper gelten. So wie die letzteren, erfahren auch die Gase durch Adhäsion an den Röhrenwänden einen Widerstand, welcher die Geschwindigkeit des strömenden Gases verringert. Der Druck, den die Röhrenwände von den Gasen auszuhalten haben, nimmt um so mehr ab, je mehr man sich der Mündung der Röhre nähert. Die Gasmengen, welche am Ende einer Röhrenleitung ausströmen, stehen im geraden Verhältnisse zu dem Drucke, unter welchem sich das Gas im Behälter befindet, und im umgekehrten Verhältnisse zu der Quadratwurzel der Länge der Leitungsröhren.

Reaction ausströmender Gase. Eben so wie eine bewegte tropfbare Flüssigkeit gegen ein Hinderniss einen bestimmten Druck ausübt, eben so übt ein Gas während des Ausströmens auf die der Ausflussöffnung gegenüberliegende Wand einen Druck, eine Rückwirkung, eine Reaction aus. Dieser Druck veranlasst eine Bewegung des Behälters, aus welchem die Ausströmung stattfindet, nach einer der Richtung des Ausflusses entgegengesetzten Seite hin. Aus dem eben Gesagten erklärt sich das Stossen der Schiessgewehre, das Zurücklaufen der Kanonen beim Abfeuern, das Steigen der Raketen, die Bewegung der Feuerräder und Schwärmer u. s. w.

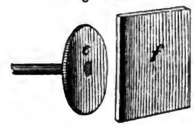
Eine Rakete ist eine cylindrische Hülse, welche mit einem Gemenge von Pulver nnd Kohle gefüllt ist, und an einem dünnen Holzstab befestigt wird. Sie wird dadurch zum Steigen gebracht, dass man sie, nach abwärts gekehrt, an einem in die Erde eingerammten Pfahle aufhängt uud dann anzündet. Die durch

Verbrennen des Gemenges von Pulver und Kohle entstehenden Gase (Kohlensäure und Stickstoff) treiben durch Druck gegen das obere Ende der Hülse die Rakete nebst dem Holzstabe senkrecht in die Höhe. Ein Gleiches findet bei den Feuerrädern statt, welche aus Scheiben von Holz bestehen, die an ihrem Umfange Schwärmer in tangentieller Richtung enthalten. Wird der Schwärmer an seinem äusseren Ende entzündet, so wird die Scheibe durch die Rückwirkung der sich entwickelnden Gase nach der entgegengesetzten Richtung hin um seine Axe rotiren.

Wenn verdichtete Luft aus der Oeffnung einer Röhre ausströmt, so wird eine gegenüberstehende bewegliche Platte natürlicher Weise von dem Luftstrome fortgestossen. Dies geschieht aber nicht mehr, wenn man die Röhre in der Nähe der Ausflussöffnung (Fig. 144) durch eine Scheibe *e* steckt. Eine vor die Oeffnung gehängte, leicht bewegliche Platte *f* bewegt sich nun nach der Scheibe hin, indem dabei die Luft zwischen der Platte und der Scheibe entweicht. Diese Erscheinung, welche man das aërodynamische Paradoxon nennen kann, hat, nach Clement und Desormes, denselben Grund, wie die Vermehrung der Ausflussmenge des Wassers durch ein conisches Ansatzrohr. Es fliesst durch die ringförmige Oeffnung mehr Luft ab, als durch die enge Oeffnung an der Wand des Gefässes durch den innern Luftdruck nachfolgen kann, und es würde sich zwischen der Scheibe und der Platte ein luftverdünnter Raum bilden, wenn nicht durch die äussere atmosphärische Luft die bewegliche Platte an die Scheibe gedrückt würde.



Fig. 144.



Die Erfahrung hat gezeigt, dass dasselbe vor sich geht, wenn man anstatt eines Gases Wasserdämpfe ausströmen lässt; es ist daher diese Wirkung in Bezug auf das Schliessen der Ventile an Dampfkesseln zu berücksichtigen.

Die Luftströmungen. Eine jede im Verhältniss zur Erdoberfläche fortschreitende Bewegung wird Wind genannt. Lüftchen, Sturm und Orkan sind verschiedene Winde, die sich von einander nur durch den Grad ihrer Intensität unterscheiden. Man berücksichtigt bei einem Winde die Richtung und die Stärke. Gewöhnlich benennt man einen Wind nach der Himmelsgegend, aus welcher er kommt. Wenn die Richtung nicht mit einer der vier Haupthimmelsgegenden übereinstimmt, so wird sein Name aus den Haupthimmelsgegenden zusammengesetzt, zwischen welche seine Richtung fällt. Dabei nennt man Nord oder Süd stets zuerst. Wenn man die Richtung eines Windes, und zwar nur die horizontale Richtung, bestimmen will, so bedient man sich der bekannten

Wetterfahnen. Für die Beobachtung der Neigung des Windes sind bis jetzt noch keine geeigneten Instrumente in Gebrauch gekommen, obwohl die flatternden Bänder der Mastwimpel deutlich anzeigen, dass der Wind nicht immer genau in horizontaler Richtung weht, sondern oft bedeutend schräg einschneidet. Diejenigen Vorrichtungen, durch welche man die Stärke (die Geschwindigkeit) des Windes bestimmen will, nennt man Anemometer.

Die Richtung des Windes lässt sich leicht nach der Richtung bestimmen, in welcher leichte Körper, wie Federn oder der Rauch der Schornsteine, fortgetrieben werden. Befeuchtet man einen Finger und setzt ihn der Luft aus, so empfindet man an der Seite des Fingers, die dem Winde zugekehrt ist, zuerst ein Kältegefühl. Diese von den Jägern angewendete Methode, um die Witterung eines Wildes zu beurtheilen, ist ausserordentlich empfindlich, und man nimmt durch dieselbe schon den schwachen Luftzug wahr, welcher eine Windfahne nicht zu richten vermag.

Die Anemometer geben entweder unmittelbar die Höhe an, bis zu der ein bestimmtes Gewicht durch den Wind gehoben wird, oder die Grösse der Verschiebung einer bestimmten Last, oder endlich die Umdrehungszahl kleiner Windmühlenflügel, aus welchen sich die Geschwindigkeit durch Berechnung finden lässt. Sich selbst registrirende Instrumente, welche die unausgesetzte Beobachtung überflüssig machen und doch als Resultat ein Bild des ganzen Vorganges geben, wie es sich nur aus einer unausgesetzten Beobachtung ergeben kann, nennt man Anemographen. Letztere Instrumente finden besonders auf den Gradirhäusern der Salinen Anwendung.

Vom Stosse der Luft. Der Stoss, der durch bewegte Luft gegen ein Hinderniss ausgeübt wird, ist im Allgemeinen nach den nämlichen Grundsätzen zu beurtheilen wie der des Wassers. Dabei darf aber der Umstand nicht übersehen werden, dass Luft, so wie überhaupt jedes Gas ein ausdehnsamer Körper ist, der beim Anstossen verdichtet wird und sich darauf wieder ausdehnt. Den Stoss, den ein Gas gegen ein Hinderniss ausübt, verhält sich zum Stosse eines tropfbaren Körpers gegen ein Hinderniss, wie der Stoss eines festen elastischen Körpers zu jenem eines unelastischen. Die Erfahrung lehrt jedoch oft ein Verhalten beim Stosse der Luft, das man aus theoretischen Untersuchungen nicht ableiten kann. Die Kenntniss vom Stosse der Luft ist besonders wichtig in Betreff auf zweckmässige Benutzung der Kraft des Windes zum Treiben der Windmühlenflügel und zur Bewegung der Schiffe mittelst Segel.

Neunter Abschnitt.

Von der Wellenbewegung und von den Gesetzen des Schalles.

Die Cohärenz der Materie ist bekanntlich eine Folge des Gleichgewichtes der Anziehung und Abstossung ihrer Theilchen. Wenn diese Theilchen durch irgend eine Ursache aus der dem Gleichgewicht entsprechenden Lage entfernt und sich darauf selbst überlassen werden, so suchen sie in die Lage des Gleichgewichts zurückzukehren und machen um diese letztere Schwingungen. Eine solche schwingende Bewegung nennt man Wellenbewegung. Wenn sich dabei die Bewegung von denjenigen Theilen, welche unmittelbar von der das Gleichgewicht störenden Ursache afficirt werden, zu den angrenzenden fort und fortpflanzt, so nennt man die daraus entstehende Wellenbewegung eine fortschreitende, wenn aber die in einer Wellenbewegung ergriffenen Theile gleichzeitig sich bewegen, eine stehende Wellenbewegung. Die letztere ist stets eine Folge der ersteren.

Wir betrachten zunächst die Wellenbewegungen tropfbarer Flüssigkeiten, namentlich die des Wassers.

Die fortschreitenden Schwingungen, die wir an tropfbarflüssigen Körpern beobachten, werden hauptsächlich durch die Einwirkung der Schwere auf die einzelnen Theilchen hervorgebracht. Wird die Gleichgewichtslage einer horizontalen Wasserfläche auf irgend eine Weise gestört, so ist es die Schwere der einzelnen Wassertheilchen, durch welche die gestörte Horizontalebene wieder hergestellt wird.

Wirft man einen Stein ins Wasser, so bemerkt man, dass sich um die getroffene Stelle abwechselnd kreisförmige Erhabenheiten und Vertiefungen, d. h. Wellen bilden, welche gleichförmig fortschreiten. Den einzelnen Wassertheilchen kommt aber hierbei keine fortschreitende Bewegung zu, denn wenn man einen auf Wasser schwimmenden Körper, z. B. ein Stück Kork, in das Bereich der Wellen bringt, so sieht man, dass dasselbe sich abwechselnd hebt und senkt, ohne sich fortschreitend zu bewegen.

Eine jede Welle besteht aus zwei Theilen, aus dem über der Horizontalebene der Flüssigkeit befindlichen Theile, dem Wellenberge, und dem darunter befindlichen, dem Wellenthale. *abc*

Fig. 145.



(Fig. 145) sei der Durchschnitt eines Wellenberges, *cde* der Durchschnitt eines Wellenthales, so ist *abcde* der Durchschnitt einer Welle. Die Entfernung des höchsten Punktes des Wellenberges von der Horizontalen, also *bf*, ist die Höhe des Wellenberges; die Entfernung des tiefsten Punktes des Wellenthales von derselben Horizontalen, also *fd*, die Tiefe des Wellenthales. Diese Höhe des Wellenberges, plus der Tiefe des Wellenthales (bf + fd) giebt uns die Höhe der ganzen Welle. Die Linie *ac* giebt uns die Breite des Wellenberges, die Linie *ce* die Breite des Wellenthales, die Linie *ae* demnach die Breite der ganzen Welle. Jeder Wellenberg ist nach oben convex, jedes Wellenthal nach unten concav; obgleich beide fortschreitend in einander übergehen, ist aber die durch den Wellenberg beschriebene Curve mit der des dazu gehörigen Wellenthales durchaus nicht congruent, selbst der Vordertheil eines Wellenberges ist anders gestaltet, als der Hintertheil. Es lässt sich dies sehr gut durch das Experiment nachweisen, wenn man in einem mit Quecksilber gefüllten Gefässe eine Welle erzeugt und sich dieselbe auf einer mit Mehl bestäubten Schiefertafel abbilden lässt.

Die Gebrüder Weber, denen man die grössten Kenntnisse bezüglich der Wellenlehre verdankt, suchten mehrere Wellen von ein und derselben Beschaffenheit zu erzeugen. Zu diesem Zwecke wurde eine Glasröhre mit dem einen Ende in die Flüssigkeit getaucht, und durch Saugen mit dem Munde am andern Ende eine Flüssigkeitssäule in die Höhe gehoben und dann wieder fallen gelassen. Die auf diese Weise hervorgebrachten Wellen sind stets gleich gross, vorausgesetzt das die gehobene Säule gleich hoch war.

Die genauesten Kenntnisse von der Wellenbewegung tropfbarer Flüssigkeiten erwirbt man sich auf dem Erfahrungswege, und zwar durch Anwendung eines von den Gebr. Weber construirten Apparates, der Wellenrinne, einem rechtwinkligen schmalen, aber tiefen und langen Gefässe mit gläsernen Seitenwänden, das mit Flusswasser gefüllt wird, welches kleine schwimmende Körper enthält. Dabei geht man jedoch von der Voraussetzung aus, dass man durch die Bahnen der schwimmenden Körperchen die Bewegung der durch diese Körper verdrängten Flüssigkeit kennen lerne. Auf diese Weise fanden die Gebr. Weber:

Dass, während eine Welle sich regelmässig ausbreitet, die einzelnen Wassertheilchen krumme, in sich zurückgehende Bahnen

beschreiben, die in einer verticalen Ebene liegen. Diese Bahnen sind anscheinend Ellipsen, welche sich der Kreisform nähern. Die in der Richtung der Wellenfortpflanzung liegenden Theilchen fangen ihre Bewegung nach einander an, nie aber stossen zwei Theilchen zusammen, deren Bahnen sich schneiden. In der Fortpflanzung dieser Bewegung von Theilchen zu Theilchen liegt der Grund der Wellenfortpflanzung. Während ein Theilchen der Flüssigkeit eine Bahn einmal zurücklegt, schreitet die dadurch entstandene Welle um ihre ganze Breite vorwärts; es geht entweder der Wellenberg oder das Wellenthal voraus, je nachdem die betreffenden Theilchen ihre Bewegung nach aufwärts oder nach abwärts beginnen. Die Geschwindigkeit mit welcher sich eine Welle in tropfbaren Flüssigkeiten fortpflanzt, ist abhängig von ihrer Breite und Höhe, oder mit andern Worten, von ihrer Breite und derjenigen Geschwindigkeit, womit die Flüssigkeitstheilchen ihre Schwingungsbahnen durchlaufen, da die Geschwindigkeit selbst von der Höhe der Welle abhängig ist. Die näher an der Oberfläche liegenden Theilchen durchlaufen ihre Bahnen nicht so schnell, als die tiefer liegenden. Jedes Theilchen, das durch eine momentan wirkende Kraft in Bewegung gesetzt worden ist, wiederholt seine Umdrehung mehrmals, aber in stets kleineren Bahnen und in immer kürzerer Zeit. Die schwingende Bewegung der Theilchen ist die eigentliche, wirkliche Bewegung beim Fortgange der Wellen und die Welle ist nur die Gestalt, welche die Flüssigkeit an ihrer Oberfläche durch die Bewegung ihrer kleinsten Theilchen annimmt.

Wenn zwei Wellen einander begegnen und durchkreuzen, oder interferiren, so entsteht aus zwei Wellenbergen ein einziger, dessen Höhe fast der Summe beider gleich ist. Ganz dasselbe findet statt, wenn zwei Wellenthäler sich durchkreuzen. Nach der Durchkreuzung trennen sich die beiden Wellenberge und Wellenthäler wieder von einander und es hat den Anschein, als wären die Wellen ungestört durch einander gegangen. Wenn ein Wellenthal mit einem eben so hohen Wellenberge zusammen kommt, so heben beide sich an der Durchkreuzungsstelle auf. Während der Durchkreuzung der Wellen ändert sich die Bewegung der einzelnen Flüssigkeitstheilchen ab, indem die elliptische Bahn in eine geradlinige übergeht. Die Durchkreuzung veranlasst eine kleine Verzögerung in dem Fortschreiten der Welle, nach der Durchkreuzung bewegen sich aber die Wellen mit derselben Geschwindigkeit fort, als hätten sie sich nicht durchkreuzt.

Wenn in einer tropfbaren Flüssigkeit eine Welle, deren Mittelpunkt *o* (Fig. 146) sein mag, an eine senkrechte Wand mit der

Fig. 146.



Oeffnung xy stösst, so erleidet die Welle eine Modification, welche **Beugung** genannt wird. Die Endstücke der Wellenbogen nämlich, die nach einander durch die Oeffnung xy gehen, werden an den Rändern derselben, gegen die Wände hin, zu Kreisbogen ab, de u. s. w. umgebeugt, deren Mittelpunkte x und y sind. Diese Bogen unterhalten stets die Verbindung zwischen dem Theile der Welle vor und hinter der Oeffnung.

Stösst eine Welle gegen eine feste Wand an, so wird sie in einer Richtung zurückgeworfen, die der entgegengesetzt ist, von welcher die Welle ausgegangen war. Der Winkel, unter welchem ein Theil der Welle an die Wand anstösst, ist gleich dem Winkel, unter dem er wieder zurückgeht.

Von den fortschreitenden Schwingungen tropfbarer Flüssigkeiten sind die **stehenden Schwingungen** zu unterscheiden; bei diesen findet kein wahrnehmbares Fortschreiten der Wellen statt, sondern es verwandelt sich nur immer ein Wellenberg in ein Wellenthal. Die Breite der stehenden Welle ist nur halb so gross als die der fortschreitenden, ihre Höhe ist aber grösser. Eine stehende Schwingung dauert noch fort, wenn auch die sie erregende Ursache zu wirken aufgehört hat; sie bildet sich aber fast stets aus dem Zusammentreffen fortschreitender und zurückgeworfener Wellen.

Ein in seinen Theilen vibrirender Körper verursacht auch in der umgebenden Luft eine Wellenbewegung, welche in unserem Ohre, wenn sie dahin gelangt einen **Schall** hervorbringt. Die Lehre vom Schalle heist **Akustik**. Berücksichtigen wir die Umstände, an welche die Wahrnehmung eines **Schalles** gebunden ist, so gelangen wir zu der Ueberzeugung, dass diese Wahrnehmung sich auf den Inbegriff von Impulsen bezieht, welche das Gehörorgan von dem daselbst zunächst umgebenden und darauf einzuwirken fähigen Stoffe, namentlich durch die atmosphärische Luft, erfährt. Diese Impulse sind die Folge anderer, die auf irgend eine Weise gegen einen elastischen Körper ausgeübt und von demselben durch Zwischenstoffe, die mit der erforderlichen Elasticität begabt sind, bis zu dem Ohre fortgepflanzt werden. Folgende drei Stücke sind erforderlich, damit ein Schall wahrgenommen werde: 1) eine Schallerregung, 2) eine nicht unterbrochene Folge von solchen Stoffen von dem Schallerreger bis zu dem Gehörorgan,

welche zur Fortpflanzung der Erregung geneigt sind, 3) eine gehörige Beschaffenheit des Gehörorgans.

Insofern man den Schall in objectiver Beziehung nur als eine Reihenfolge von Impulsen, deren Stärke und Rapidität innerhalb gewisser Grenzen liegt, betrachtet, und aus der Beschaffenheit des Schalles auf die Impulse und auf die Eigenschaften der dabei betheiligten Körper schliesst, steht die Untersuchung des Schalles mit der Betrachtung der Wellenbewegung elastischer Körper in untrennbarer Verbindung.

Die gewöhnlichen Schallerreger sind elastische Körper, welche sich im Zustande schwingender Bewegung befinden. Man nennt solche Körper vorzugsweise schwingende Körper.

Ein fester Körper lässt sich in Schwingungen versetzen durch Zusammendrücken und Dehnen, durch Biegung und durch Drehung und zwar am besten dann, wenn seine Gestalt linien- oder flächenförmig ist; man erhält so folgende vier Klassen von schwingenden Körpern: 1) Saiten, dünne, fadenförmige, vollkommen biegsame Körper, welche durch Spannung elastisch gemacht sind, 2) Membranen, dünne, flächenförmige, vollkommen biegsame Körper, die durch Spannung elastisch gemacht sind, z. B. Pergament (Trommeln und Pauken), Kautschuk, Blase, Papier; 3) Stäbe, steife, linienförmige Körper, welche vermöge ihrer Steifigkeit zu schwingen im Stande sind (Eisen-, Glasstäbe); 4) Scheiben, flächenförmige, steife Körper. Wir kommen weiter unten hierauf ausführlicher zurück.

Dass der Schall eine eigenthümliche, in einer wägbaren Materie hervorgebrachte Bewegung ist, lässt sich leicht dadurch nachweisen, dass die Wahrnehmung des Schalles bei heftiger Anregung zu schwingender Bewegung, z. B. bei dem Anschlagen an eine Glocke sogleich wegfällt, wenn die Verbindung des schallenden Körpers mit dem Gehörorgan unterbrochen ist.

So hört man ein unter dem Recipienten einer Luftpumpe in Gang gebrachtes Schlagwerk nicht; sogleich aber wird der Schlag vernehmlich, wenn man Luft in den Recipienten treten lässt. Es ist daher unmöglich, dass ein auch noch so grosser Lärm sich über die Grenzen unserer Atmosphäre verbreite. Vermittelst des Recipienten einer Luftpumpe lässt sich ferner nachweisen, dass nicht nur in der Luft allein, sondern auch in allen Dämpfen und Gasen sich der Schall verbreitet, denn wenn man in den luftleeren Recipienten einige Tropfen einer flüchtigen Flüssigkeit eintreten lässt, so bilden sich Dämpfe und der Schlag des erwähnten Schlagwerkes wird hörbar. Aber auch in flüssigen und festen Körpern erfolgt, vorausgesetzt, dass dieselben hinreichende Elasticität besitzen, Fortpflanzung des Schalles. So hört man den Gang einer am Ende eines langen Balkens liegenden Uhr, wenn man das Ohr an den Balken anlegt; ein Schlag an dem einen Ende einer metallenen Röhrenleitung wird doppelt gehört, da der

Schall sich durch die Luft und das Metall, und zwar mit verschiedener Schnelligkeit, fortpflanzt. Im Wasser pflanzt sich ebenfalls der Schall sehr gut fort.

Ein einzelner Impuls, welcher das Gehörorgan trifft, erzeugt einen einfachen Schall, welchen man mit dem Namen Knall bezeichnet, wenn er nicht durch regelmässige Schwingungen eines Körpers erzeugt und durch eine regelmässige Wellenbewegung fortgepflanzt wird. Wenn mehrere Impulse und durch dieselben erzeugte einfache Schalle in ungleichen Zeiten und von verschiedener Beschaffenheit aufeinander folgen, so entstehen eigenthümliche Modificationen des Schalles, welche mit den Namen Geräusch, Brausen, Lärm, Rasseln bezeichnet werden. Wenn sich uns der Schall als etwas Geregeltes darstellt und demgemäss einen angenehmen Eindruck hervorbringt, so nennt man ihn Klang. Ein Klang, der in allen seinen Theilen gleichartig erscheint, d. h. nicht aus verschiedenen Klängen besteht, heist Ton. Die Lehre von den Tönen bildet den wichtigsten Theil der Akustik.

Der Klang eines Tones ist von dem Gesetz abhängig, welches die Geschwindigkeiten der einzelnen Theilchen des tönenden Körpers während einer Schwingung befolgen. Ein Ton kann höher oder tiefer sein; es ist ferner bekannt, dass ein Ton um so höher ist, je kleiner die Schwingungsdauer der Theilchen des Körpers ist, der ihn erzeugt, und je kürzer die Luftwellen sind, die ihn fortpflanzen.

Die sichersten Mittel zur Bestimmung der absoluten Tonhöhe, d. h. zur Bestimmung der absoluten Anzahl der in einer gegebenen Zeit vollführten Schwingungen, durch welche ein gewisser Ton hervorgebracht wird, sind das Monochord und die Sirene.

Das Monochord besteht aus einer cylindrischen, in transversale Schwingungen zu versetzenden Metallsaite, die an einem Gestelle so gespannt ist, dass man die Grösse ihrer Spannung und die Länge des schwingenden Theiles beliebig abändern und mit Genauigkeit angeben kann. Wenn man eine solche Saite von bedeutender Länge allmählich verkürzt, so sieht man deutlich, dass im Anfange, wo man die Schwingungen einzeln sehen und zählen kann, kein Ton gehört wird, dass aber später bei rascheren Schwingungen sich ein tiefer Ton einstellt, dessen Höhe mit der durch fortgesetzte Verkürzung gesteigerten Schnelligkeit der Schwingungen zunimmt. Das Monochord ist besonders bequem, wenn es sich darum handelt, die Anzahl der Schwingungen bei zwei Tönen mit einander zu vergleichen.

Die Sirene besteht aus einer Scheibe, die um eine gegen ihre

Ebene senkrechte Axe, einem Rade ähnlich, drehbar und mit gleichen und gleich weit von einander entfernten, in einem mit der Scheibe concentrischen Kreise stehenden Oeffnungen versehen ist, gegen welche man, während die Scheibe umläuft, einen Luftstrom leitet. Durch das abwechselnde Unterbrechen und Durchlassen des Luftstromes werden Impulse erzeugt, aus denen bei hinreichender Geschwindigkeit der Drehung der Scheibe ein Ton entsteht. Die Anzahl der erfolgten Impulse erfährt man durch Multiplication der Anzahl der Löcher mit der Anzahl der Umläufe der Scheibe. Letztere Anzahl wird durch ein mit der Axe der Scheibe in Verbindung stehendes Zeigerwerk angezeigt. Gewöhlich besteht die Sirene aus einem cylindrischen Windkasten, welcher durch eine kreisförmige Platte verschlossen ist, an deren Umfange gleich weit von einander abstehende Löcher angebracht sind, durch welche die in den Windkasten eintretende Luft ausströmen kann.

Eine andere einfache, von Seebeck angegebene Construction der Sirene ist folgende. Auf eine, um eine horizontale Axe bewegliche, sarke hölzerne, mit Blei beschwerte runde Scheibe ist concentrisch eine Scheibe aus platter, dünner Pappe befestigt. Am Umfange derselben sind in gleichen Abständen Löcher von ungefähr zwei Linien Durchmesser eingeschlagen. Lässt man nun die Scheibe sich schnell herumdrehen und bläst dabei mit einer dünnen Röhre, deren Mündung etwas enger ist, als die Löcher, gleichförmig gegen die Löcherreihe, so entsteht ein Ton. Derselbe Ton lässt sich nach Savart auch hervorbringen, wenn man gegen die sich drehende Löcherreihe eine elastische Federspitze drückt.

Das natürliche Mass der Höhe eines Tones ist die demselben entsprechende Anzahl von Schwingungen, die während einer festgesetzten Zeit, zu der wir die Secunte wählen, vor sich gehen. Wird ein Ton durch n Schwingungen in einer Secunde gebildet, so ist die Tonhöhe $= n$, und dies ist seine absolute Tonhöhe. Vergleicht man aber die Höhe zweier Töne mit einander, indem man das Verhältniss ihrer absoluten Werthe angiebt, so spricht man von der relativen Tonhöhe des einen in Bezug auf den andern. Derjenige Ton, auf welchen man den andern bezieht, heist der Grundton. Ist N die absolute Höhe des Grundtones, n jene des mit ihm verglichenen, so wird der Quotient $\frac{n}{N}$ als Ausdruck der relativen Höhe des letzteren angesehen, so dass dem Grundtone der Ausdruck $\frac{N}{N} = 1$ entspricht.

Wenn man den Ton, den die ganze Saitenlänge vom Monochord giebt, als den Grundton betrachtet und darauf die Saite allmählich ohne Aenderung ihrer Spannung verkürzt, so erzeugt man leicht

jene Stufenfolge von immer höher werdenden Tönen, welche man in der Musik die Scala oder Tonleiter nennt. Sie besteht, den Grundton mit eingerechnet, aus acht Tönen, die mit den Namen Prime (Grundton), Secunde, Terz, Quarte, Quinte, Sexte, Septime, Octave bezeichnet werden. Man unterscheidet harte und weiche Tonleiter; bei letzterer ist die Terz niedriger, weshalb sie auch kleine Terz heisst, während der harten Tonleiter die grosse Terz angehört. Man bezeichnet die Töne aller Scalen, deren Grundtöne genau um eine oder mehrere Octaven von einander abstehen, mit denselben Buchstaben des Alphabetes. Diese Buchstaben sind, wenn man den Grundton C nennt, C, D, E, F, G, A, H, c; den Tönen der höheren Octave gehören mithin die Zeichen c, d, e, f, g, a, h an. Von zwei Tönen, welche angenehm zusammen klingen, sagt man, sie bilden eine Consonanz; im entgegengesetzten Falle, sie bilden eine Dissonanz. Mit dem Grundton lässt sich die Terz und die Quinte sehr angenehm hören und sie geben den vollkommensten und daher auch vorzugsweise sogenannten Dreiklang.

Den Abstand oder das Intervall nennt man den Unterschied der Höhe zweier Töne. Da die Höhe eines Tones nur von der Schnelligkeit abhängt, mit welcher die ihn bildenden Schwingungen oder Erschütterungen aufeinander folgen, so stehen zwei Töne stets in Einklang, wenn sie in derselben Zeit gleich viel isochronische Schwingungen haben. Ist aber die Tonhöhe verschieden, so hat immer der höhere Ton mehr Schwingungen in derselben Zeit, als der tiefere und es hängt die Grösse des Intervalls von dem Verhältnisse der beiden Schwingungszahlen ab. Betrachtet man die Abstände zwischen zwei auf einander folgenden Tönen der Scala in aufsteigender Richtung, so erscheint $D:C = \frac{9}{8}$, $E:D = \frac{10}{9}$, $F:E = \frac{16}{15}$, $G:F = \frac{9}{8}$, $A:G = \frac{10}{9}$, $c:H = \frac{16}{15}$. Es kommen daher hier die drei Intervalle $\frac{9}{8}$, $\frac{10}{9}$ und $\frac{16}{15}$ vor. Das erste Intervall heisst ein grosser ganzer Ton, das zweite ein kleiner ganzer Ton, das dritte ein halber Ton. Das zwischen einem grossen und kleinen ganzen Tone bestehende Intervall, nämlich $\frac{9}{8} : \frac{10}{9} = \frac{81}{80}$, wird Comma genannt. Ausführlich auf diesen Gegenstand einzugehen erlaubt der Raum nicht.

Fortpflanzung des Schalles in der Luft. Die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles ist auf empirischem Wege ermittelt worden. Da die Fortpflanzung eine gleichförmige

ist, so erhält man deren Geschwindigkeit, wenn man den binnen einer gewissen Zeit t vom Schalle in der Luft zurückgelegten Weg durch die Zeit t dividirt. Die Ermittelung dieses Weges geschieht am besten durch Abfeuern von Kanonen. Wenn nämlich eine Kanone abgefeuert wird, so sieht ein in noch so grosser Entfernung stehender Beobachter den Blitz in dem Augenblicke des Entstehens (weil das Licht die grössten irdischen Entfernungen in einem Momente durchläuft); den mit dem Blitz gleichzeitig erzeugten Knall aber vernimmt er erst einige Zeit nachher. Dividirt der Beobachter nun seine Entfernung von dem Geschütz durch die Zeit, so ergiebt sich die Geschwindigkeit, mit der sich der Schall in der Luft fortpflanzt. Da aber der Wind den Schall merklich beschleunigen oder verzögern kann, so muss man, um diesen Einfluss zu eliminiren, an beiden Enden der Randlinien Geschütze abfeuern, sowie an beiden Enden die Zeit der Fortpflanzung beobachten und sodann aus beiden Ergebnissen das Mittel nehmen. Aus Versuchen, die vom Bureau des Longitudes in Paris unter Humboldt's und Arago's Leitung angestellt worden sind, ergiebt sich, dass **der Schall bei 0° und bei trockener Luft in einer Secunde 332,05 Meter, oder 1022,2 Pariser Fuss durchläuft.** Theorie und Erfahrung lehren, dass hohe und tiefe Töne, sowie stärkerer und schwächerer Schall mit gleicher Geschwindigheit fortgepflanzt werden.

Die Geschwindigkeit des Schalles in Gasen ist nach Dulong's Versuchen, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Luft als Einheit angenommen, folgende:

Die	der Kohlensäure	= 0,786
„	des Stickstoffgases	= 0,787
„	des ölbildenden Gases	= 0,943
„	des Sauerstoffgases	= 0,952
„	des Kohlenoxydgases	= 1,015
„	des Wasserstoffs	= 3,812

In festen und tropfbarflüssigen Körpern pflanzt sich der Schall mit grösserer Schnelligkeit fort, als in der atmosphärischen Luft. Man kann annehmen, dass dieselbe im Stahl 15 mal, im Eisen $10^1/_2$ mal, im Silber 9 mal, im Glase 17 mal, im gebrannten Thone 10—12 mal, in verschiedenen Hölzern 11—16 mal, im Wasser über 4 mal grösser sei, als in der atmosphärischen Luft.

Die Stärke des Schalles nimmt in freier Luft ab, wenn die Entfernung, in welche er sich verbreitet, grösser ist, und zwar kann man die Stärke des Schalles dem Quadrat dieser Entfernung verkehrt proportional setzen. Durch Kunst lässt sich der Schall so modificiren, dass er ohne merkliche Abnahme weit fortgepflanzt werden kann; es geschieht dies dadurch, dass man die Schallwellen mittelst Röhren, die glatt genug sind, um nicht selbst in

Schwingungen versetzt zu werden, oder durch Reibung einen Theil der bewegenden Kraft zu vernichten, abhält, sich zu erweitern und eine grössere Masse in Bewegung zu setzen. Dies wird bewirkt durch das Communicationsrohr und das Sprachrohr.

Das Communicationsrohr ist eine beliebig lange cylindrische, ½ bis 1 Zoll weite blecherne Röhre, in welcher die Luft einen an dem einen Ende angeregten Schall so ungeschwächt fortleitet, dass man denselben am andern weit entfernten Ende eben so gut hört, als wäre er nahe am Ohre erregt worden.

Das Communicationsrohr findet auf Schiffen, in grossen Fabriken u. s. w. vielfache Anwendung.

Das Sprachrohr hat am häufigsten die Form eines abgekürzten Kegels, mit einem Mundstück am engen, und einen trompetenförmigen Fortsatze am weiten Ende. Es hat gewöhnlich eine Länge von 4—6 Fuss, bei ungefähr 2 Zoll und 6—10 Zoll der beiden Oeffnungen. Der Erfahrung zufolge hat das Material, woraus das Sprachrohr besteht, keinen Einfluss auf dessen Wirkung; gewöhnlich verfertigt man es aus Blech oder Pappe. In dem Sprachrohre werden die von dem redenden Munde am engeren Ende A (Fig. 147) ausgehenden Schallstrahlen 1, 2 u. s. w. von den glatten Wänden bei a, a^2, a^3, a^4 und b, b_2, b_3, b_4 wiederholt reflectirt, bis sie unter einander parallel austreten, so dass dann der Schall wie in einer cylindrischen Röhre, unter Uebertragung der Bewegung von Schicht zu Schicht in gleichem Masse, zu beträchtlichen Entfernungen fast ungeschwächt fortgepflanzt werden kann.

Fig. 147.

Reflexion des Schalles. So lange das Schallmittel, auf dessen Erschütterung die Fortpflanzung des Schalles beruht, gleichartig ist, geht nach jeder Richtung genau das Nämliche vor sich, was beim Stosse gleichförmiger, dichter, elastischer Kugeln von gleichen Massen stattfindet. Jedes Theilchen trägt durch seinen Stoss an das nächste seine Geschwindigkeit über und bleibt dann in Ruhe. Anders aber verhält sich die Sache, wenn die Fortpflanzung der Erschütterung sich bis an die Grenze zweier ungleichartiger Medien erstreckt. In diesem Falle zerlegt sich jede Welle in zwei Theile, von denen der eine in das neue Medium übergeht, während der andere in das vorige zurückgeht, oder wie man sich ausdrückt, zurückgeworfen oder reflectirt wird. Nennt man die

gerade Linie, nach welcher sich in einem gleichförmigen Mittel der Schall fortpflanzt, einen Schallstrahl, so hat man für die Zurückwerfung des Schalles den Satz, dass der Winkel, welchen der reflectirte Schallstrahl mit der Trennungsfläche beider Mittel macht, jenem gleich ist, den der einfallende Strahl mit derselben einschliesst. Ist die Grenze der Medien eine Ebene oder eine regelmässig gekrümmte Fläche, so erleidet der Schall eine vollständige Zurückwerfung; in dem Falle jedoch, in welchem die Grenze unregelmässig von Erhöhungen und Vertiefungen unterbrochen ist, wird der Schall unregelmässig nach allen Richtungen hin zurückgeworfen und geht zum grössten Theile für das Gehör verloren. Durch Zurückwerfung wird die Geschwindigkeit des Schalles nicht geändert. Der Schall wird nicht nur von festen, sondern auch von tropfbarflüssigen und luftförmigen Körpern reflectirt.

Auf der Reflexion des Schalles beruht die Wirkung des Hörrohres, der Nachhall, das Echo, sowie die Wirkung gegeneinander gestellter Hohlspiegel.

Das Hörrohr (Fig. 148) ist ein Instrument, dessen sich Schwerhörige zur Verstärkung des ihnen zugehenden Schalles bedienen; es besteht aus einer Röhre, die mit dem Ende *a* ins Ohr gehalten wird, und nach der andern, der Schallquelle zugewendeten Seite sich erweitert, um einen grösseren Theil der Schallwelle aufzunehmen und durch die sich allmählich verengernde Röhre nach dem Ohre zu führen. Es fehlt bis jetzt an einer genügenden, auf Erfahrung gegründeten Theorie des Hörrohres.

Fig. 148.



Nachhall und Echo. Wenn eine Schallwelle unser Ohr passirt und durch einen Impuls auf dasselbe eine Schallempfindung angeregt hat, und dann von irgend einem ungleichförmigen Mittel, z. B. von einer Felsenwand, einer Wolke etc. reflectirt wird, so gelangt die Schallwelle wegen geringerer Entfernung dieses Mittels früher zum Ohre zurück, als dieses für die Wahrnehmung eines zweiten wieder empfindlich geworden; es fällt daher die durch die reflectirte Welle erzeugte Schallempfindung mit der früher erregten theils zusammen und verstärkt diese, theils schliesst sie sich an, so dass eine Verlängerung des ursprünglichen Schalles, ein Nachhall, stattfindet.

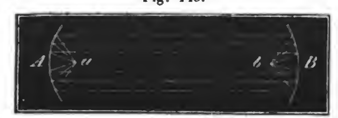
So vernimmt man den Knall eines Kanonenschusses bei heiterem Himmel ganz einfach, während er bei bedecktem Himmel dem Rollen des Donners vergleichbar ist, indem hierbei der Schall von den Wolken reflectirt wird.

Ist die Entfernung so gross, dass der reflectirte Schall erst dann zurückkommt, wenn sich das Ohr vom ersten Schalle so erholt hat, dass es für einen zweiten vollkommen empfänglich ist, so vernimmt man den Schall doppelt und diese Erscheinung heisst Echo oder Wiederhall. Fallen die Schallwellen rechtwinklig auf eine reflectirte Fläche, so müssen dieselben wieder zu ihrem Ausgangspunkte zurückkehren. Nun kann aber selbst ein geübtes Ohr nicht mehr als 9 Laute in einer Secunde deutlich unterscheiden, weshalb auf einen Laut $\frac{1}{9}$ Secunde kommen. Ein Gegenstand, der den letzten Laut eines zusammenhängenden Schalles als Echo zurücksenden soll, muss $\frac{1022}{18} = 56{,}7$ Fuss entfernt sein. Beträgt diese Entfernung $56{,}7 \times 2 = 113{,}4$ Fuss, so werden die zwei letzten Laute im Echo vernehmbar. Durch mehrere reflectirende Flächen kann eine Sylbe auch mehrmals wiederholt werden, so dass ein sogenanntes vielfaches Echo entsteht.

So angenehm ein Echo im Freien erscheint, so unangenehm erscheint es in Localitäten, wie in Kirchen, Auditorien und Concertsälen. Das gewöhnliche und dem Zwecke vollkommen entsprechende Mittel, die Wirkung des Echo's zu schwächen, besteht darin, die Wände durch Anbringung von Verzierungen uneben zu machen. Diese Unebenheiten zerstreuen und zersplittern nach allen Richtungen die Schallwelle bei der Reflexion so, dass der zum Ohr zurückgelangende Theil derselben nicht mehr die zur Anregung einer Schallempfindung nöthige Stärke hat.

Die Wirkung zweier gegeneinander gestellter Hohlspiegel erklärt sich auf folgende Weise. A und B (Fig. 149) seien die beiden Hohlspiegel. Spricht jemand leise im Brennpunkte a des Hohlspiegels A nach letzterem hin, so wird der Schall von einer anderen Person, deren Ohr sich im Brennpunkte b des Hohlspiegels B befindet, selbst in grosser Entfernung hin, deutlich vernommen werden, während eine dritte, zwischen a und b befindliche, dem Sprechenden ganz nahe stehende Person nichts vernimmt. Die vom Munde des in a Sprechenden ausgehenden Schallstrahlen werden durch Reflexion von A dem Spiegel B zugeworfen und von letzterem so reflectirt, dass sie sich im Brennpunkte b, also im Ohre des Hörenden, concentriren.

Fig. 149.



Es ist selbstverständlich, dass in Sälen, die für musikalische Productionen bestimmt sind, Wölbungen oder abgerundete Nischen die Stelle der Spiegel ver-

treten können; man muss deshalb mit Anbringung solcher Wölbungen vorsichtig sein, weil leicht eine Concentrirung der Schallwellen, also eine Verstärkung des Schalles, eintreten könnte, welche oft ein unverständliches Tongewirre zur Folge hat.

Tönende Körper. Nach dem, was in den vorstehenden Abschnitten vorausgeschickt worden ist, lässt sich nun ein Unterschied machen zwischen den Zuständen der Bewegung, in welchen sich ein Körper befindet, wenn er nur den Schall fortpflanzt, und wenn er einen Schall erzeugt. Die Fortpflanzung des Schalles wird durch eine Wellenbewegung erzeugt, bei welcher die Erreger, die gewisse Theile eines elastischen Körpers empfangen, auf benachbarte Theile übertragen werden. Die Körpertheile gerathen nach einander in Bewegung und gelangen durch die Rückwirkung sogleich wieder in Ruhe. Hingegen bei der Erzeugung des Schalles, bei dem Tönen befinden sich die Körper in schwingender Bewegung und ihre Theilchen bewegen sich hin und her, indem sie von den Gleichgewichtslagen nach der einen und nach der entgegengesetzten Seite hin abweichen. Man nennt hier eben so wie bei der Wellenbewegung tropfbarflüssiger Körper die Wellenbewegung fortschreitende Schwingung, die schwingende Bewegung stehende Schwingung.

Wir betrachten im Folgenden die hauptsächlichsten tönenden Körper, vorzugsweise diejenigen, von denen man in der praktischen Musik Gebrauch macht; es sind dies Saiten, Membranen, Stäbe, Scheiben (vergl. S. 179) und die Luft.

Tönen der Saiten. Wenn eine Saite (ein dünner, aus Gedärmen, Seide oder Metall gefertigter, fadenförmiger Körper) durch Befestigung ihrer Endpunkte gespannt, und darauf durch einen Zug mit dem Finger (wie bei der Harfe), durch Streichen mit dem Bogen (wie bei den Streichinstrumenten), oder durch Anschlagen eines Hammers (wie bei dem Clavier) aus ihrer Gleichgewichtslage herausgebracht wird, so zieht sie sich, sich selbst überlassen, in Folge ihrer durch die Spannung erlangten Elasticität, wieder zusammen, kehrt durch eine Reihe regelmässig aufeinander folgender Schwingungen (transversaler Schwingungen) von regelmässig abnehmender Schwingungsweite in die Gleichgewichtslage zurück und erzeugt so einen Ton, dessen Höhe sich verkehrt wie die Länge und Tiefe, und gerade wie die Quadratwurzeln der Spannung verhält. Dabei schwingt die Saite entweder als Ganzes, und nimmt dann bei den grössten Entfernungen aus ihrer Gleichgewichtslage *ab* (Fig. 150) die

Fig. 150.



Gestalt *adb* und *acb* an, oder sie theilt sich in Theile ihrer Länge ab, von denen ein jeder für sich und mit den angrenzenden Theilen gleichzeitig in der entgegengesetzten Richtung schwingt, so dass sie, wenn sich die Saite in drei Theile theilt, die Gestalt *acdefg* (Fig. 151) hat. Diejenigen Theilchen, welche an der Schwingung keinen Theil nehmen und während derselben in Ruhe bleiben, in nebenstehender Figur also *d* und *e*, heissen **Schwingungsknoten.** Bei solchen Schwingungsarten, bei welchen sich die Saite in aliquote Theile theilt, schwingt ein jeder Theil so, als ob er eine eigene Saite wäre, und jeder einzelne Schwingungsact entspricht einem besonderen Tone. Die Saite giebt ihren tiefsten Ton, wenn sie ganz schwingt; bringt man in der Hälfte derselben einen Schwingungsknoten hervor, so liegt der eine Theil der schwingenden Saite immer diesseits, der andere jenseits der Gleichgewichtslage, und der entstehende Ton ist nur eine Octave höher, als der erste oder Grundton, bei drei Theilen ist der Ton um eine Octave höher u. s. w. Eine Saite von grösserer Länge kann mehrere Töne zugleich geben, indem sich grössere schwingende Theile derselben in kleinere, mit den grösseren gleichzeitig schwingende Stücke abtheilen. Spannt man mehrere Saiten neben einander, giebt ihnen gleiche Stimmung und setzt sie einem Luftzuge aus, so erklingen sie in verschiedenen harmonischen Accorden. Hierauf beruht die **Aeolsharfe** oder **Windharfe.** Bei den Saiteninstrumenten spielt der Resonanzboden eine wichtige Rolle, von welchem weiter unten die Rede sein wird.

Fig. 151.



In Bezug auf die Schwingungen der Saiten ergiebt die Erfahrung folgende Gesetze: 1) die Schwingungsmenge einer Saite verhält sich umgekehrt wie ihre Länge; 2) die Zahl der Schwingungen einer Saite ist der Quadratwurzel aus den spannenden Gewichten proportional; 3) die Schwingungszahlen verschiedener Saiten derselben Materie verhalten sich umgekehrt wie ihre Dicke; 4) die Schwingungszahlen von Saiten verschiedener Materien verhalten sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln ihrer Dichtigkeit.

Tönen der Membranen. Wenn Membranen (vergleiche Seite 179) nur **nach der Länge** gespannt sind, so stehen ihre Transversalschwingungen unter denselben Gesetzen wie die Saiten, und die Knoten aller Längenfasern bilden eine Knotenlinie. Gewöhnlich aber sind Membranen nach **allen** Richtungen gespannt, wie z. B. bei einem Trommelfell; hier sind sowohl transversale als longitudinelle Schwingungen vorhanden. Die letzteren, d. h.

Schwingungen einer runden Membran in der Richtung ihrer Radien kommen mit denen einer runden, am Rande befestigten Scheibe überein. Bei kreisrunden Membranen sind die Knotenlinien concentrische Kreise. Durch die Nähe eines andern tönenden Körpers (Glocke, Orgelpfeife, Scheibe) können Membranen leicht in Schwingungen versetzt werden.

Tönen der Stäbe. Wenn ein elastischer, gerader, gleichförmig dicker Stab an einem Ende befestigt und auf irgend eine Weise aus der Gleichgewichtslage gebracht wird, so geräth er vermöge seiner Elasticität in transversale Schwingungen, welche, sobald sie schnell genug aufeinander folgen, einen Ton erzeugen. Der Stab schwingt entweder in seiner ganzen Länge, oder er schwingt in Abtheilungen, welche durch Schwingungsknoten getrennt sind. Die Schwingungsknoten lassen sich leicht dadurch hervorrufen, dass man den Stab am Ende eines passenden aliquoten Theils seiner Länge leicht berührt und das längere Stück in der Nähe des Berührungspunktes streicht. Die Tonhöhen des Stabes, der mit 1 oder 2 Schwingungspunkten schwingt, verhalten sich wie die Quadrate der Zahlen 2 und 5; bei mehreren Schwingungsknoten dagegen vom zweiten an wie die Quadrate von 3, 5, 7, 9 u. s. w.

Wie elastische Stäbe verhalten sich in Bezug auf tönende Schwingungen auch schmale elastische Streifen, welche als Tonerzeuger Anwendung zu den Spielwerken in Uhren und Dosen finden. Bei der Mund- und Physharmonica werden Töne durch metallene Zungen mittelst Wind erzeugt. Was man Aeolodikon nennt, ist nicht wesentlich von der Physharmonica verschieden; das sogenannte Aeolsclavier unterscheidet sich dadurch, dass es hölzerne Zungen hat.

Bei homogenen Stäben ist die Höhe der Töne der Dicke der Stäbe direct und dem Quadrate der Länge umgekehrt proportional.

Die Schwingungen eines Stabes, der in der Mitte so gekrümmt ist, dass seine beiden Schenkel parallel laufen (die sogenannte Stimmgabel) sind von den transversalen Schwingungen eines geraden Stabes, dessen Enden frei sind, nicht wesentlich verschieden; es findet aber hierbei der Unterschied statt, dass die Schwingungsknoten, zwischen welche die Krümmung fällt, in Folge dieser Krümmung dieser einander näher gerückt sind; der gekrümmte Stab giebt deshalb stets einen höheren Ton.

Um einen Stab in Längeschwingungen (Longitudinalschwingungen) zu versetzen, fasst man ihn an einer Stelle, an welcher sich ein Schwingungsknoten befindet, mit zwei Fingern und streicht einen schwingenden Theil der Länge nach mit einem weichen Körper, z. B. mit einem Stückchen Tuch, der, wenn der

Stab von Glas ist, mit Wasser benetzt und mit fein zerriebenen Bimstein bestreut, wenn aber der Stab von Holz oder Metall ist, mit Colophonium bestrichen wird.

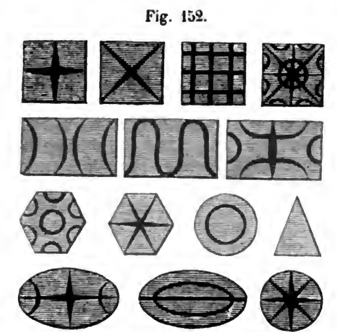
Ausser den erwähnten Schwingungsarten sind noch drehende Schwingungen möglich, die reine musikalische Töne erzeugen und am leichtesten bei cylindrischen, an einem Ende festgemachten Stäben angeregt werden, wenn man dieselben mit einem Violinbogen so streicht, dass sich dieser senkrecht gegen den Stab, um einen Theil seines Umfangs herum bewegt und die ergriffenen Theile in der Richtung um die Axe des Stabes eine Strecke weit mit sich fortnimmt. Indem diese Theile durch eine Reihe von Schwingungen um die Axe herum in ihre Gleichgewichtslage zurückkehren, entsteht ein Ton.

Einen praktischen Gebrauch macht man von den drehenden Schwingungen bei der sogenannten Eisenvioline, welche aus eisernen Stiften besteht, die in den halbkreisförmigen Steg eines Resonanzbodens eingeschlagen sind, und mit dem Violinbogen gestrichen werden.

Die sogenannte Strohfiedel (*Carillon*) besteht aus einer Anzahl schmaler Anzahl schmaler Stäbe von Glas, Stahl oder Holz von verschiedener Länge, welche genau über zwei kleine Strohhalmbündel gelegt sind und mit zwei Klöppeln geschlagen werden. Die Schwingungsart, in die jeder Stab durch das Anschlagen des Klöppels versetzt wird, kommt mit der eines an beiden Enden freien, mit zwei Schwingungsknoten schwingenden Stabes überein.

Tönen der Scheiben oder Platten. Wenn eine ebene oder gekrümmte, durch Steifigkeit elastische Platte durch Anschlagen oder Streichen mit dem Violinbogen in Schwingungen versetzt wird, so geben die entstehenden Transversalschwingungen einen entsprechenden Ton. Die Scheibe zerlegt sich hierbei in mehrere schwingende Theile von der Gestalt krummer Flächen, die auf entgegengesetzten Seiten der ursprünglichen Gleichgewichtslage befindlich, durch ruhende feste Linien, Knotenlinien, von einander getrennt sind. Um diese Linien, die sich während des Schwingens bilden, sichtbar zu machen, streut man auf die obere Fläche der Platte feinen trocknen Sand, der, durch die Schwingungen in Bewegung gesetzt, sich auf den Knotenlinien anhäuft und merkwürdige Figuren darstellt, die nach ihrem Entdecker Chladni'sche Klangfiguren heissen. Diese Klangfiguren, welche auf quadratischen Platten entstehen, werden durch Knotenlinien erzeugt, die mit der einen oder der andern Dimension parallel laufen. Bei rechteckigen Scheiben findet etwas ähnliches statt; die Klangfiguren aus runden Scheiben bestehen entweder aus Kreislinien oder aus Diametrallinien, oder aus einer Combination von beiden. Der

Fig. 152.



Abstand zweier Knotenlinien von einander ist stets ein aliquoter Theil der Dimension der Platte, welcher auf ihnen senkrecht steht. Bringt man auf mehreren Scheiben von gleicher Gestalt und Grösse einerlei Klangfigur hervor und stellt diese auf gehörige Art zusammen, so erhält man eine zusammengesetztere Figur, die man meist auf ähnlichen grösseren Scheiben auf einmal erzeugen kann. In Fig. 152 sind einige Klangfiguren abgebildet, wie sie auf quadratischen und länglichrechteckigen, auch runden und ovalen, endlich auf drei- und sechseckigen Platten erzeugt werden können.

Nach Strehlke sind alle Knotenlinien gekrümmt und die scheinbar geraden Linien nur Zweige von hyperbolischen Curven.

Die Schwingungen von gekrümmten Flächen, z. B. von Glocken, verhalten sich beim Tönen wie runde ebene Scheiben. Eine Glocke theilt sich während des Schwingens in eine gerade Zahl von Theilen, die durch Knotenlinien von einander getrennt sind und zugleich mit dem Ganzen schwingen. Wenn man eine Glocke mit Wasser füllt und zugleich deren Oberfläche mit etwas Lycopodium überstreut, so unterscheidet man während des Streichens mit einem Violinbogen deutlich die ruhenden, an den Knoten liegenden Stellen und kann auf diese Weise die Knotenlinien sichtbar machen.

Die Knotenlinien behalten nicht immer ihre feste Lage bei, sondern können ihren Ort ändern. Diese Verrückung der Knotenlinie kann man hervorbringen, wenn man eine symmetrisch gebaute Platte in der Mitte unterstützt, und sie durch mehrere schnelle Bogenstriche in Bewegung setzt. Fährt man fort die Platte zu streichen, so kann man den Knotenlinien eine stetige Rotationsbewegung ertheilen.

In Bezug auf die Theorie der Schwingungen der Scheibe ist zu erwähnen, dass Gesetze von hinreichender Allgemeinheit noch nicht existiren; im Allgemeinen ist der Einfluss, welchen die Grösse, Dicke und der Stoff der Scheibe auf die Höhe der Töne ausüben, eben so wie an den Glocken, die Zahl der Schwingungen an zwei

Scheiben von ähnlicher Gestalt proportional der Dicke, umgekehrt proportional dem Quadrat des Durchmessers und proportional dem Elasticitätsmodulus nach der Höhe.

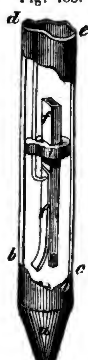
Tönen der Luft. Die Luft ist der tönende Körper in den Orgelpfeifen, Flöten und den sogenannten einfachen (d. h. nicht mit Zungen oder elastischen Plättchen versehenen) Blasinstrumenten (Trompete, Posaune, Waldhorn u. s. w.) Alle diese Instrumente haben die Form einer Röhre und dienen nur dazu, die darin enthaltene Luftsäule in longitudinale Schwingungen zu versetzen, was durch das Anblasen geschieht. Der Ton richtet sich nur nach den Dimensionen und der Schwingungsart der Luftsäule; das Material, aus welchem die Wände bestehen, influirt nur auf den Charakter des Tones, nicht aber auf seine Höhe. Sehr dünne Wände sind aber im Stande, durch ihr Mitschwingen die Höhe des Tones abzuändern. Wir betrachten im Folgenden nur die Schwingungsarten einer cylindrischen oder prismatischen Luftsäule in einer Röhre, deren Länge die Dimensionen des Querschnittes bedeutend übertrifft. Es ist dies der Fall bei den gewöhnlichen Orgelpfeifen und bei dem Versuche, welchen man die chemische Harmonika nennt.

Die Labialpfeife der Orgeln besteht aus einer gewöhnlich cylindrischen Röhre von Zinn (dem Corpus), welche die zum Tönen bestimmte Luftsäule enthält; sie ist am oberen Ende offen oder gedeckt, am unteren Ende befindet sich der zum Anblasen bestimmte Theil. Die Röhre verengt sich nach unten zu, zu einem abgekürzten Kegel (dem Fuss), der unten offen ist, zum Einblasen der Luft. Der Fuss ist vom Corpus durch eine ebenfalls zinnerne Querwand, den Kern, getrennt, welcher die Gestalt eines grösseren Kreissegmentes hat und mit dem Theile seines Umfanges an Fuss und Corpus angelöthet ist; die Sehne des Segmentes bildet mit dem Fusse eine sehr enge, mit dem Corpus eine sehr breite Spalte. Diese Spalten sind gerade, indem Fuss und Corpus an dieser Stelle einwärts gebogen sind. Die Einrichtung der viereckigen hölzernen Orgelpfeifen enthält, in etwas veränderter Form, wesentlich dieselben Theile. — Wird nun durch die untere Oeffnung des Fusses (das Windloch) Luft geblasen, so strömt diese durch die enge Spalte und bricht sich dann gegen den gegenüberstehenden Rand, wodurch, wenn das Corpus verstopft ist, ein Sausen entsteht. Ist aber die Luftsäule im Corpus frei, so wird sie durch diese Erschütterung in regelmässige Schwingungen versetzt und theilt dadurch auch jenen Luftstössen eine grössere Regelmässigkeit mit, wodurch das Sausen gemildert wird. Indem nämlich jede am Aufschnitt erregte Erschütterung nach dem andern Ende des Corpus, und von da wieder zurückläuft, findet die ausströmende Luft nicht einen gleichmässigen, sondern einen periodisch wechselnden Widerstand, wodurch ihre Stösse in einer gewissen Regelmässigkeit erzeugt werden. Ist daher auch das obere Ende offen, so giebt die Pfeife ihren tiefsten Ton. Auf der Orgel stehen die Pfeifen auf den Oeffnungen eines durch die Lade mit Wind

versehenen Kastens. Diese Oeffnungen sind durch hölzerne bedeckte Ventile mittelst einer Feder geschlossen, bis sie durch das Niederdrücken der Tasten weggezogen werden.

Wenn durch einen Luftstrom ein elastisches Blättchen (eine Zunge) in Schwingungen versetzt und durch dieses darauf auf die in dem Blasinstrumente eingeschlossene Luftsäule eine Reihe regelmässig aufeinander folgender Stösse ausgeübt wird, so hat man eine Zungenpfeife (Rohr- oder Schnarrwerkspfeife), die ebenfalls bei Orgeln, bei dem Fagot, der Oboe, bei der Clarinette u. s. w. Anwendung findet. Eine solche Pfeife besteht aus dem Fusse *abc* (Fig. 153), durch welchen die Luft eingeblasen wird, und über welchen sich das eigentliche Peifenrohr *debc* befindet, in welchem die Luftsäule tönt. Beide Theile sind durch den Pfropf *i* geschieden, durch welchen eine hölzerne, am oberen Ende offene, am unteren aber schräg abgeschlossene Rinne *is* hindurchgeht, an deren Längenöffnung die Zunge *f* so angedrückt wird, dass sie den oberen Theil dieser Oeffnung ganz schliesst, nach unten aber etwas von derselben absteht. Wenn bei *a* in den Fuss des Instrumentes Luft eingeblasen wird, so sucht diese durch die Spalte *o* zu entweichen. Da *o* aber kleiner ist als *a*, so wird die Luft im Fusse condensirt, die Zunge an die Rinne angedrückt und diese verschlossen. Die durch die Rinne gestrichene Luft äussert beim Andrange gegen die äussere auf die Zunge sogleich eine Rückwirkung, welche in Verbindung mit der Elasticität der Zunge verursacht, dass die Zunge von der Rinne zurückschnellt. Durch diese Hin- und Hergänge erzeugen sich in der Luft der Rinne Wellen, wodurch ein Ton entsteht, dessen Höhe von der Schnelligkeit des Schwingens der Zunge und von der Länge der im Rohre schwingenden Luftsäule abhängig ist.

Fig. 153.



Bei der chemischen Harmonika (Fig. 154) hält man die Mündung einer in verticaler Lage befindlichen weiten Glasröhre über eine Wasserstoffgasflamme, wodurch eine Reihe von Verpuffungen entsteht, welche so schnell auf einander folgen, dass dadurch ein ununterbrochener Ton hervorgebracht wird, der von den Tönen der in der Röhre enthaltenen Luftsäule herrührt. Die Höhe dieses Tones variirt je nach der Grösse des Cylinders und je nachdem man den Cylinder höher oder tiefer hält.

Fig. 154.



Das Mittönen der Körper (die Resonanz). Das Wesen des Mittönens besteht darin, dass man eine möglichst grosse Fläche (einen sogenannten Resonanzboden) durch die Schwingungen eines tönenden Körpers zum Mitschwingen bringt. In den Zustand des Mittönens geräth jede eingeschlossene Luftmasse, gegen welche die Schwingungen eines tönenden Körpers gerichtet sind. Durch das Mittönen wird zwar die Höhe des Tones nicht geändert, allein ein Mit-

schwingender Körper ist von Einfluss auf den Klang und dient stets dazu, den Ton zu verstärken. Sind z. B. auf ein Monochord zwei Saiten gespannt, welche Töne von gleicher Höhe geben, und schlägt man die eine an, so tönt die andere mit. Die Mittheilung der Schwingungen geschieht hier einmal durch die Schwingungen der Luft, einmal durch die des Resonanzbodens. Eine stark angeschlagene Stimmgabel giebt, wenn sie frei in der Hand gehalten wird, einen sehr schwachen Ton, der aber sogleich vernehmlich wird, wenn man die Gabel auf einen Resonanzboden (auf einen Kasten von dünnem, elastischem Holze) setzt. In Folge der Schwingungen des Resonanzbodens wird die unter ihm befindliche Luft iu Schwingungén versetzt. Bei der Maultrommel bringt man die Luft im Munde zum Mittönen. Auf mittönenden Körpern kann man Klangfiguren hervorrufen, die von denen, welche die tönenden Körper selbst geben, wesentlich verschieden sind und Resonanzfiguren genannt werden. Savart erhielt solche Klangfiguren, indem er über einen Holzrahmen oder über die Oeffnung einer Glasglocke Membranen spannte und diese durch eine genäherte Stimmgabel oder Orgelpfeife in Schwingungen versetzte. In der nebenstehenden Zeichnung (Fig. 155) ist eine Reihe solcher an quadratischen Membranen beobachteten Figuren dargestellt. Eine jede der Horizontalbreiten enthält Figuren, die bei zunehmender Höhe des Tones allmählich in einander übergegangen sind.

Fig. 155.

Die Knotenlinien der Resonanzfiguren sind nicht so regelmässig, als die der eigentlichen Klangfiguren; ihre schwingenden Abtheilungen sind ferner nicht immer aliquote Theile der Grösse der ganzen schwingenden Fläche. Bei den Klangfiguren nimmt die Höhe des Tones mit der Anzahl der Knotenlinien zu, während bei den Resonanzfiguren dieses Verhältniss nicht mehr zu beobachten ist.

Zur Bestätigung des Mittönens mögen folgende Beispiele dienen: Eine in der Nachbarschaft eines Claviers hängende Violine klingt deutlich mit, indem die Schwingungen der Saiten des Claviers auf die Saiten der Violine durch die Luft übertragen werden. Wenn man die Resonanzböden zweier, in verschiedenen Stockwerken eines Hauses befindlichen Claviere durch einen Holz- oder Metallstab mit einander verbindet, so hört man die Töne des einen deutlich auch auf

dem andern. Wenn sich in Orchestern unter dem Fussboden ein hohler Raum befindet, so haben die Instrumente, in Folge der Resonanz des Bodens, eine ungleich stärkere Wirkung.

Die Polarisation des Schalles. Wheatstone hat in Bezug auf die Mittheilung tönender Schwingungen eine eigenthümliche Modification entdeckt, welche er Polarisation des Schalles nennt. Diese Benenunng ist jedoch unpassend, da man eine Polarisation des Schalles in dem Sinne, wie beim Lichte, nicht kennt. Stellt man eine Stimmgabel auf das Ende eines langen, geraden Metalldrahtes, der auf einem Resonanzboden befindlich ist, so theilt sich der Ton nur dem Brete, nicht aber dem Drahte mit. Stellt man die Stimmgabel rechtwinklig mit dem Schafte auf ein Ende des Drahtes, so werden die Schwingungen durch den Draht dem Brete mitgetheilt, wenn die Zinken der Gabel mit der Axe des Drahtes in einerlei Ebene liegen, nicht aber, wenn die Axe des Drahtes auf der Ebene der Zinken senkrecht steht. Dreht man die Stimmgabel aus einer Lage in die andere, so nimmt der Ton während einer ganzen Umdrehung zwei Mal ab und eben so oft zu u. s. w.

Das menschliche Stimmorgan besteht aus mehreren Theilen, die ohne anatomische Betrachtung nicht studirt werden können; wir beschränken uns deshalb darauf, die Anordnung derjenigen Theile zu betrachten, die direct zur Hervorbringung der Stimme mitwirken. Bekanntlich ist die Luftröhre (*trachea*) eine Röhre, welche auf der einen Seite mit dem Schlund, auf der andern in den Lungen endigt. Sie theilt sich am unteren End ein zwei Röhren, die Bronchien (Luftröhrenäste), welche in die Lunge eintreten und sich daselbst baumförmig in immer kleinere Aeste zertheilen, welche letztere endlich als Lungenbläschen endigen. Oben endigt die Luftröhre mit dem Kehlkopf (*larynx*), welcher vorzugsweise als das eigentliche Stimmorgan zu betrachten ist. Der Kehlkopf besteht aus vier Knorpeln, die erst im späteren Alter verknöchern; diese Knorpel sind der Schildknorpel (*cartilago thyreoidea*), der Ringknorpel (*cart. cricoidea s. annularis*) und die beiden Gieskannenknorpel (*cartilagines arytaenoideae*). Die innere Wand des Kehlkopfes endigt sich aber in zwei Häute, welche Stimmenbänder (*ligg. glottidis s. vocalia*) genannt werden und nur eine längliche, dreieckige Spalte, die Stimmritze (*glottis s. rima glottidis*) zwischen sich lassen. Die Stimmritze kann verengt und erweitert werden. Ueber derselben befinden sich zwei sackartige Höhlungen oder Taschen, die *ventriculi Morgagni s. laryngis*, deren obere Ränder gleich-

sam eine zweite Stimmritze bilden, die über der andern liegt. Die obere Stimmritze kann durch den Kehldeckel (*epiglottis*), eine dünne, herzförmige Knorpelplatte, verdeckt werden. Dieser Deckel verhindert, dass Speisen und Getränke in die Luftröhre gerathen können, indem dieselben über den Kehldeckel hinweg in den Schlund gelangen.

Was nun die Bildung der menschlichen Stimme selbst betrifft, so unterliegt es nach Joh. Müller's Untersuchungen keinem Zweifel, dass die Bildung derselben der der Töne in Zungenpfeifen ganz analog ist. Ebenso wie bei den letzteren, entsteht der Ton durch Vibriren zweier elastischer Zungen (der Stimmenbänder), wobei die Luftröhre und die Höhlung des Kehlkopfes die Stelle des Windrohres (Fusses), die Luft in der Mundhöhle aber die Luftsäule in dem Pfeifenrohr einer Zungenpfeife repräsentirt. J. Müller stellte Versuche mit ausgeschnittenen menschlichen Kehlköpfen an, wobei er die Verengerungen und Erweiterungen der Stimmritze, wie sie im Leben durch die Muskeln hervorgebracht werden, durch Fäden, die mittelst Gewichten angezogen wurden, bewerkstelligte. Auf diese Weise fand Müller, dass die unteren Stimmbänder bei enger Stimmritze durch Anblasen von der Luftröhre aus reine und volle Töne gaben, welche denen der menschlichen Stimme sehr nahe kommen; er fand ferner, dass bei gleicher Spannung der Stimmbänder die grössere oder geringere Verengerung der Stimmritze keinen wesentlichen Einfluss auf die Tonhöhe ausübt, obschon bei weiter Stimmritze der Ton schwerer anspricht und weniger klangvoll ist. Durch stärkeres Blasen bei gleicher Spannung der Stimmbänder lässt sich der Ton bedeutend erhöhen; durch Schwingen der ganzen Stimmbänder in grösseren Excursionen werden Brusttöne, durch alleiniges Vibriren ihrer feinen Ränder aber Falsettöne erzeugt. Der Unterschied der Töne bei Männern und Weibern beruht auf ungleicher Länge der Stimmbänder. Im Zustande der Ruhe sind die letzteren schlaff und runzelig und erhalten erst durch Blasen die zum Schwingen erforderliche Spannung. Die Zunge und die Lippen, der Schlund und die Mundhöhle haben grossen Antheil an der Articulation der menschlichen Stimme.

Das Stimmorgan der Säugethiere, sowie überhaupt das der mit Lungen versehenen Thiere (der Amphibien und Vögel) liegt eben so wie bei den Menschen am Ausgange der Luftröhre. Verschiedene Gattungen dieser Klassen zeigen indessen mancherlei Eigenthümlichkeiten. So haben z. B. die Affen eigenthümliche resonirende Theile an ihrem Stimmorgane. Der männliche Frosch hat häutige Säcke am Halse, die beim Schwingen der Stimmbänder

nach aussen treten und den Ton verstärken. Das Stimmorgan der Thiere ist aber bei weitem nicht so gut ausgebildet, wie bei den Menschen, weshalb ihre Stimme einen gleichen Grad von Vollkommenheit zu erreichen nicht geeignet ist. Das Stimmorgan der Vögel befindet sich am unteren Ende der Luftröhre, weshalb ein Einschnitt in letztere die Erzeugung der Töne nicht hindert (Cuvier zeigte, dass eine Elster, eine Ente, eine Amsel u. s. w. nach Durchschneidung der Luftröhre noch zu schreien vermögen). In Bezug auf die Theorie der Vogelstimme herrscht grosse Ungewissheit, und es lässt sich keineswegs behaupten, dass sie gleich der der Säugethiere wie eine Zungenpfeife wirke.

Das Gehörorgan besteht aus dem äusseren Ohre (der Ohrmuschel und aus dem Gehörgange) und dem inneren Ohre (dem Trommelfelle, der Trommelhöhle und dem Gehörnerv). Die Ohrmuschel (*concha auris*) ist die knorpelige, muschelförmige Vertiefung in der Mitte des Ohres, welche sich in den Gehörgang (*meatus auditorius*) fortsetzt. Der Gehörgang ist ein anfänglich knorpeliger, am inneren Ende knöcherner Kanal, dessen Ende durch das Trommel- oder Paukenfell (*membrana tympani*) verschlossen ist. Dieses Fell ist als eine gespannte Membran besonders geeignet, die Schwingungen der Luft anzunehmen und auf flüssige und feste Körper zu übertragen. Das Trommelfell trennt den Gehörgang von dem zweiten Raume des Gehörgangs, der Trommelhöhle (*cavitas tympani*), in welcher sich die Gehörknöchelchen, der Hammer (*malleus*), der Ambos (*incus*), der Steigbügel (*stapes*) und das runde Knöchelchen des Sylvius befinden. Der Hammer theilt sich wie ein Winkelhebel in zwei Arme, von denen der eine mit dem Trommelfelle verwachsen, der andere aber in den Ambos eingelenkt ist. Der Ambos ist mit seiner Spitze durch ein linsenförmiges Knöchelchen (das Sylvische Bein) mit dem Steigbügel verbunden. Alle diese Knöchelchen bilden gewissermassen ein Hebelsystem und sind mit besonderen Muskeln zu ihrer Bewegung versehen; sie dienen zur Spannung und Erschlaffung des Trommelfelles und zur Fortleitung des Schalles. Von der Trommelhöhle führen zwei mit Membranen überspannte Oeffnungen, das runde und das ovale Fenster (*fenestra rotunda et ovalis*) nach dem Labyrinth, einem von Knochen gebildeten, aus Höhlungen und Windungen bestehenden Raume, der mit einer wässrigen Flüssigkeit, dem Labyrinthwasser, gefüllt ist. Vermittelst des runden und des ovalen Fensters werden die Schwingungen von dem Trommelfelle aus durch die Trommelhöhle hindurch an das Labyrinthwasser übertragen. Die Trommelhöhle steht mit der Mundhöhle durch die Eustachische Ohrtrompete (*tuba Eustachij*) in Verbindung. Der Gehörnerv,

welcher von dem unteren Theile des Gehirnes kommt, theilt sich bei seinem Eintritt in das Labyrinth. Die Schwingungen der uns umgebenden Luft werden durch das Labyrinthwasser dem darin ausgebreiteten Gehörnerve mitgetheilt.

Ausser dem Menschen besitzen nur noch einige Säugethiere wahre äussere Ohren. Bei den im Wasser lebenden ist der Gehörgang mit einer besonderen Klappe verschlossen. Die vollkommeneren Thiere, wie die Säugethiere, die Vögel, viele Amphibien haben ein Trommelfell, die Eustachische Röhre und Gehörknöchelchen. Das Gehörorgan der Fische ist nur aus drei Bogengängen zusammengesetzt. Thiere ohne erdige Knochenmasse haben, wie es scheint, kein Gehörorgan.

Zweiter Theil.

Physik der unwägbaren Stoffe.

Einleitung.

Unwägbare Stoffe, ätherische Stoffe, Imponderabilien nennt man im Gegensatz zu den Körpern oder wägbaren Stoffen die hypothetisch angenommenen materiellen Basen des Magnetismus, der Elektricität, des Lichtes und der Wärme. Daher die Ausdrücke: magnetische und elektrische Materie, Lichtstoff, Wärmestoff. Ausser der negativen Eigenschaft der Unwägbarkeit schreibt man den unwägbaren Stoffen auch die Eigenschaften der Unsichtbarkeit und Unverschliessbarkeit in Gefässen zu; ausserdem noch eine vollkommene Beweglichkeit ihrer Theile und den höchsten Grad der Flüchtigkeit und Elasticität.

Erster Abschnitt.

Von dem Magnetismus.

Unter Magnetismus versteht man im Allgemeinen die Ursache der von gewissen Körpern gegen das Eisen ausgeübten Anziehung. Diejenigen Körper, welche eine solche Anziehung (eine magnetische Kraft) schon in dem Zustande äussern, in welchem sie in der Natur gefunden werden, wie das natürlich vorkommende Eisenoxyduloxyd (der sogenannte Magneteisenstein) heissen natürliche Magnete; diejenigen hingegen, welche diese Eigenschaft erst nach einer gewissen vorgängigen Behandlung erlangt haben, künstliche Magnete. Die Eigenschaft, vom Magnete angezogen zu werden, kommt ausser dem Eisen noch dem Nickel, dem Kobalt, Mangan, Chrom u. s. w., so wie allen natürlichen und künstlichen Verbindungen dieser Metalle zu.

Faraday nimmt den Magnetismus als eine allgemeine Eigenschaft der Materie an, nach welcher alle Körper von dem Magnete entweder angezogen oder abgestossen werden. Zu den ersteren, den *magnetischen Körpern*, deren Hauptrepräsentant das Eisen ist, gehören die erwähnten Metalle. Ausser diesen zeigen sich noch schwach magnetisch: Papier, Siegellack, Porcellan, Flussspath, Graphit, Holzkohle u. s. w. Zu den Körpern der zweiten Gruppe, welche Faraday *diamagnetische* nennt, gehören: Wismuth, Antimon, Zink, Zinn, Quecksilber, Alaun, Kalkspath, Weinsäure, Wasser, Alkohol, Phosphor, Schwefel, die meisten Säuren, Zucker, Stärke, Gummi, Holz u. s. w.

Zwischen den Erscheinungen, die ein natürlicher und ein künstlicher Magnet zeigt, findet kein Unterschied statt und lässt sich für beide die allgemeine Bezeichnung *Magnet* anwenden.

Die Erscheinungen, welche ein Magnet zeigt, sind folgende: Bringt man einen Magnet mit Eisenfeile in Berührung, so hängt sich dieselbe an den Magneten an; bei Anwendung eines starken Magneten richtet sich die Eisenfeile schon auf, wenn der Magnet in ihre Nähe kommt und bewegt sich zu demselben hin. Die Stärke der magnetischen Anziehung nimmt mit zunehmender Entfernung ab und ist demnach bei unmittelbarer Berührung am grössten. Die Stärke wird aber nicht durch den Dazwischentritt von Körpern geschwächt, welche sich indifferent gegen Magnete verhalten.

Ein Magnet wirkt demnach durch Papier, Glas, Porcellan, Holz und ähnliche Gegenstände. Obgleich diese Körper, nach Faraday, magnetisch oder diamagnetisch sind, so verschwindet doch ihre magnetische Eigenschaft zu der überaus mächtigen des Eisens.

Die Anziehungskraft eines Magneten erscheint nicht an allen Stellen seiner Oberfläche gleich gross. Zwei Stellen besonders zeichnen sich durch die Stärke ihrer anziehenden Kraft aus. Man nennt diese Stellen die *Pole des Magneten*; sie liegen gewöhnlich an den beiden Enden desselben. Wälzt man einen Magnetstab in Eisenfeile, so hat er nach dem Herausnehmen das Ansehen wie Fig. 156; man bemerkt, dass sich an den beiden Enden des Stabes die meiste Eisenfeile angesetzt hat, während sie in der Mitte ganz abgefallen ist. Die beiden Enden a und b sind die Pole. In der Mitte c äussert der Magnet gar keine Anziehungskraft gegen das Eisen. Die ungefähr in der Mitte der Länge des Magneten um denselben gezogene

Fig. 156.

Linie *de* heisst die neutrale Linie oder die Mittellinie, die Verbindungslinie der Pole *acb* die Axe des Magneten.

Unter dem Einfluss eines Magneten wird das Eisen selbst zum Magnet. Bringt man einen Eisenstab an den Pol eines Magneten oder bei einem kräftigen Magneten nur in die Nähe des Pols, so wird das Eisen selbst magnetisch und erhält das Vermögen, andere Eisenstückchen zu tragen. Reines weiches Eisen, d. h. kohlenstofffreies, behält die magnetische Kraft nur so lange bei, als es in der Nähe des Magnetpoles befindlich ist; eine chemische Verbindung des Eisens mit dem Kohlenstoff, der Stahl, ist aber fähig, durch Berührung mit einem Magneten selbst magnetisch zu werden. Die Kraft, welche Körper befähigt, dauernd magnetisch zu werden, nennt man die Coërcitivkraft.

Die Coërcitivkraft ist von der Natur und der Temperatur des betreffenden Körpers abhängig. Bei Stahl, welcher die grösste Coërcitivkraft besitzt, wächst dieselbe mit der Härte. Weiches Eisen besitzt fast gar keine Coërcitivkraft. Die Coërcitivkraft des Stahles, des unreinen Eisens, des Nickels u. s. w. wird durch Ausglühen und langsames Erkalten, insofern dies die Härte mindert, geschwächt.

Auf die Eigenschaft eines Magneten, dem Stahl dauernd magnetisehe Eigenschaften zu ertheilen, gründet sich die Darstellung künstlicher Magneten, denen man die Form eines geraden oder hufeisen-gebogenen Stabes (Magnetstäbe oder Hufeisenmagnete) zu geben pflegt. Magnetstäbe, die durch eine durch den Schwerpunkt gehende Axe sich frei bewegen können, nennt man Magnetnadeln. Hängt man eine Magnetnadel so auf, dass sie sich in einer horizontalen Ebene drehen kann, so wendet sie sich mit dem einen Pole nach Norden, mit dem anderen nach Süden. Den ersten nennt man den Nordpol oder nach Faraday den bezeichneten Pol, den zweiten den Südpol oder den unbezeichneten Pol.

In Frankreich ist es gebräuchlich, den am geographischen Nordpole liegenden magnetischen Pol den nördlichen Pol, den am geographischen Südpol liegenden magnetischen Pol den südlichen Pol zu nennen. Eine Magnetnadel wendet sich nach dieser Bezeichnung demnach mit ihrem südlichen Pole nach Norden und mit ihrem nördlichen Pole nach Süden. Um Zweideutigkeiten zu vermeiden, wendet man daher zuweilen die Benennung Nordende und Südende für den bezeichneten und unbezeichneten Pol an.

Gleichnamige Pole stossen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an. Nähert man den Nordpol eines beweglichen Magneten dem Nordpol eines andern Magneten, so findet eine Abstossung statt. Ein gleiches Verhalten zeigen auch die Südpole. Ein Nordpol und ein Südpol ziehen da-

gegen einander an. Die Pole, welche sich anziehen, werden auch freundschaftliche, diejenigen, welche sich abstossen feindschaftliche genannt.

Dieser Eigenschaft wegen nimmt man zweierlei Magnetismen an, nämlich den Magnetismus der Nordpole und den der Südpole, und bezeichnet jenen mit +M' diesen mit —M, weil die anziehende Kraft eines Nordpoles auf Eisen durch einen ebenso starken und ebenso weit entfernten Südpol vernichtet wird. In der Mittellinie des Magneten ist die Grenze dieser beiden Kräfte, und darin liegt auch die Ursache des indifferenten Verhaltens derselben.

Wenn man mehrere Magnetstäbe so miteinander verbindet, dass ihre gleichnamigen Pole neben einander liegen, so wirken sie wie ein stärkerer Magnet. Ein solches System von Magneten nennt man eine magnetische Batterie. Legt man ungleichnamige Pole neben einander, so wird die magnetische Kraft geschwächt oder ganz aufgehoben. Ein Stahlstab wird dadurch, dass er magnetische Kraft annimmt, nicht schwerer, eben so verliert ein Magnetstab, mit welchem man andere Stäbe magnetisirt, nichts von seiner magnetischen Kraft. Die Temperatur ist auf die Haltbarkeit eines Magneten von grossem Einflusse; durch Erhitzen bis zum Weissglühen wird die magnetische Kraft vollständig zerstört.

Vermittelst des Gesetzes, dass gleichnamige Pole sich abstossen, ungleichnamige einander anziehen, erkennt man leicht, ob der Pol eines Magneten ein Nord- oder ein Südpol sei und ob ein Körper überhaupt magnetische Eigenschaften besitze. Man hat nur nöthig, den zu untersuchenden Körper einer Magnetnadel nahe zu bringen; ist in demselben Polarität vorhanden, so muss er wenigstens an einem Punkte der Magnetnadel Abstossung äussern; der abstossende Punkt besitzt dann die mit dem abgestossenen Pole gleichnamige Polarität. Auf die Anziehung kann man bei der Beurtheilung sich nicht mit Sicherheit verlassen.

Die Verticalebene, in der sich die Pole einer frei hängenden Magnetnadel befinden, heisst der magnetische Meridian. Vergleicht man diesen mit dem geographischen Meridiane des Beobachtungsortes, so findet man, dass beide sich unter einem Winkel schneiden, welcher die magnetische Abweichung (magnetische Declination) heisst. Hängt man eine Magnetnadel in ihrem Schwerpunkte horizontal auf, so findet man, dass sich ihr Nordpol unter die Horizontalebene herabsenkt. Der Winkel, welchen die Nadel mit dem Horizonte macht, heisst die magnetische Inclination (magnetische Neigung). Wenn die Magnetnadel um eine durch ihren Schwerpunkt gehende Axe nur

in einer Ebene beweglich ist, die auf der Verbindungslinie der Pole eines in seinem Schwerpunkte frei aufgehängten Magnetstabes senkrecht steht, so bleibt die Nadel in jeder Lage, in welche man sie durch Drehung um ihre Axe bringt, in Ruhe und heisst astatisch. Die schärfere Bestimmung dieser Begriffe wird erst später, wenn vom Erdmagnetismus die Rede sein wird, gegeben werden; es sei hier nur bemerkt, dass die erwähnten Erscheinungen zu dem Schlusse führen, dass die Erde selbst wie ein Magnet wirke, und gegen Norden einen mit dem Nordpole einer Magnetnadel, gegen Süden aber einen mit dem Südpole der Nadel ungleichnamigen magnetischen Pol besitze.

Erzeugung künstlicher Magnete. Solche Stoffe, die fähig sind, dauernd Magnetismus aufzunehmen, können durch elektrische Ströme, sowie durch schon fertige Magnete magnetisch gemacht werden. Ueber die erste Mittheilungsweise wird später bei dem Elektromagnetismus ausführlich die Rede sein. Die zweite Mittheilungsweise vermittelst schon fertiger Magneten besteht entweder darin, 1) dass man zuerst durch die Nähe eines Magneten in dem zu magnetisirenden Stabe den Magnetismus vertheilt und darauf denselben durch Reibung, Druck, Hämmern, überhaupt durch eine Erschütterung bleibend macht, oder 2) dass man mit schon fertigen Magneten den Stab auf geeignete Weise streicht.

Die erste Methode lässt sich ausführen, wenn man die Erde als vertheilenden Magneten benutzt und den zu magnetisirenden Stab in eine der Richtung der Inclinationsnadel (in unsern Gegenden beträgt die Inclination nahe 68°) nahe kommende Richtung bringt und darauf den Stab wiederholt erschüttert. Diese Stäbe behalten ihre Polarität bei, wenn die Stellung von längerer Dauer war.

Die zweite Methode, die am häufigsten Anwendung findet, ist entweder die Methode des einfachen oder die Methode des doppelten Striches, je nachdem man mit einem oder gleichzeitig mit zwei magnetischen Polen streicht.

Die Methode des einfachen Striches besteht darin, dass man mit dem Nordpole des Streichmagneten wiederholt von der Mitte des Stabes aus nach dem zum Südpol bestimmten Ende hin, mit dem Südpol dagegen, ebenfalls von der Mitte aus, nach dem andern Ende hin streicht, und am Ende den Streichmagnet entweder seitwärts abzieht, oder über das Ende hinaus führt. Ist *AB* (Fig. 157) der zu magnetisi-

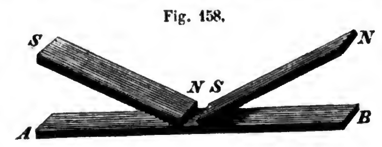
Fig. 157.



rende Stab, und führt man den Nordpol eines Magneten in der Richtung von A nach B hin, so zeigt sich bei A ein Nordpol, bei B ein Südpol. Wenn man den in der Richtung von A nach B bewegten Nordpol des Streichmagnet'n wieder auf dem Stabe von B nach A zurückführen wollte, so würde der durch den vorhergehenden Strich erregte Magnetismus ganz oder zum Theil wieder aufgehoben werden.

Bei der Methode des doppelten Striches setzt man die beiden Streichmagnete SN und NS (Fig. 158) mit entgegengesetzten Polen unter einem Winkel von 20—30° auf die Mitte des Stabes AB in geringer Entfernung von einander auf, streicht gleichzeitig mit dem einem Magnete nach dem einen, mit dem andern nach dem andern Ende hin, und fährt auf diese Weise fort, bis keine Zunahme des Magnetismus im Stabe mehr wahrgenommen wird. Man nennt diese Methode die von Canton und Duhamel oder den getrennten Strich. Nach einer andern Methode, der des Aepinus und dem ungetrennten Strich, setzt man beide Magnete wie vorher auf, fährt aber, in gleichbleibender Entfernung beide von einander haltend, gemeinschaftlich nach den Enden hin und zurück. Nan beendigt das Streichen, wenn man nach einer hinreichenden Zahl von Hin- und Hergängen wieder zur Mitte zurückgekommen ist, wobei man zu bemerken hat, dass beide Enden gleich oft gestrichen worden sein müssen.

Fig. 158.



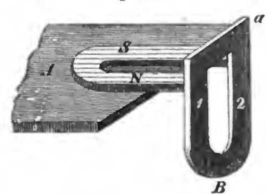
Der Doppelstrich erzeugt, wenn er mit kräftigen Magneten ausgeführt wird, einen starken Magnetismus. Zum Magnetisiren von Boussolennadeln und Stäben, die zu genauen Untersuchungen bestimmt sind, darf derselbe nicht angewendet werden, weil erstens die entstehenden Pole ungleich stark sind, zweitens durch diese Methode häufig Folgepunkte oder Zwischenpole veranlasst werden.

Die Wirkung des einfachen und des doppelten Striches wird dadurch bedeutend erhöht, dass man mit der Methode des Streichens die der Vertheilung verbindet, indem man z. B. dem zum Nordpol bestimmten Ende den Südpol, dem andern Ende den Nordpol eines Magneten unterlegt. Es ist hierbei besonders vortheilhaft, wenn diese untergelegten Pole selbst mit einander verbunden sind; wenn man also gegen den Stab einen Hufeisenmagnet legt, dessen einer Pol das eine, dessen anderer Pol das andere Ende berührt; oder wenn man gegen jedes Ende des Stabes rechtwinklig einen Stabmagneten legt, und deren entgegengesetzte Pole durch einen vierten Stab von weichem Eisen mit einander verbindet, so dass das Stabsystem ein Rechteck bildet. Hierbei lassen

sich beide unmagnetische Stäbe gleichzeitig sehr stark magnetisiren, wenn man die Methode des ungetrennten Striches anwendet und die beiden Streichmagnete mit ihren entgegengesetzten Polen in einerlei Richtung mehrere Male über die vier Seiten des Rechtecks herumführt. Diese Art des Doppelstriches nennt man den Kreisstrich.

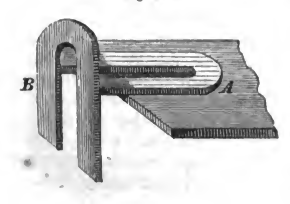
Das Magnetisiren hufeisenförmiger Stäbe kann zwar, wie bei den geraden Stäben, durch den einfachen oder durch den doppelten Strich vermittelst gerader Stäbe geschehen; am vortheilhaftesten bedient man sich aber hierzu eines ebenfalls hufeisenförmig gestalteten Magnetes. Man verfährt auf zweierlei Weise. Nach der ersten giebt man dem Hufeisenmagnete *A* (Fig. 159) auf einer glatten Oberfläche, z. B. auf einem Tische, eine feste Lage, sodass seine Pole *N* und *S* etwas über den Tisch hervorragen, legt an die Endflächen des zu magnetisirenden hufeisenförmigen Magneten *B* ein Stück *a* von weichem Eisen (einen sogenannten Anker), setzt darauf die Stabenden, die unter dem Anker befindlich sind, bei senkrechter Stellung der Stabschenkel 1 und 2 an die Pole des Magneten an und führt diese Schenkel langsam an den Magnetpolen empor, bis sie an der Krümmung des Magneten diese Pole verlassen haben. Darauf bringt man den Stab wieder mit den Magnetpolen in Berührung, führt ihn wieder an diesen Polen empor u. s. f. Schon nach einigen solchen Strichen hat der Magnet *B* das Maximum des Magnetismus angenommen, und jeder Schenkel besitzt eine Polarität, die mit der des Pols, mit dem er gestrichen worden, gleichnamig ist.

Fig. 159.



Nach einem andern Verfahren setzt man das zu magnetisirende Hufeisen *B* (Fig. 160) zunächst seiner Wölbung an die Pole des Magneten an, indem man diese durch gleichmässiges Aufwärtsschieben des Stabes längs der Schenkel des letzteren und über deren Endflächen hinausgleiten macht, den Stab wieder zur Berührung mit den Magnetpolen an seiner Wölbung zurückführt und diese Operation oft genug wiederholt. Es ist hierbei nicht wesentlich, dass der Anker aufgesetzt werde.

Fig. 160.



Die der Oberfläche zunächst liegenden Theile nehmen, wie es scheint, durch das Streichen einen stärkeren Magnetismus an, als die im Inneren befindlichen. Das Streichen ist demnach nur bis zu einer gewissen Tiefe hin wirksam. Man pflegt daher die Stäbe auf beiden Seiten, und wenn sie dicker sind, auf allen vier Seiten zu streichen. In Folge dessen nehmen auch dünnere Stäbe einen verhältnissmässig stärkeren Grad von Magnetismus an.

Wenn man einen Magnet mit einem andern Magnet auf die Weise streicht, dass dadurch im ersteren, wenn er nicht magnetisch wäre, Pole erzeugt würden, die den wirklich vorhandenen entgegengesetzt sind, so wird der ursprüngliche Magnetismus entweder ganz oder zum Theil vernichtet; man sagt dann, der Stab oder das Hufeisen sei entmagnetisirt worden.

Es sei hier noch der Transversalmagnet erwähnt, ein magnetischer Eisenstab oder Eisendraht mit mehreren Polen, von denen jeder als eine mit der Axe parallele Linie erscheint. Einen solchen Magneten erhält man, wenn man mehrere Magnetstäbe durch einen Ring in Richtung der Halbmesser steckt, so dass die ungleichnamigen Pole einander gegenüber zu stehen kommen und einen kleinen Raum zwischen sich frei lassen, wenn man durch diese Oeffnung den zu magnetisirenden Eisenstab hindurchzieht. Dieser enthält seiner Länge nach so viel Pole, als Magnetstäbe angewendet wurden.

Die Stärke des Magnetismus, welche ein Stab durch das Streichen anzunehmen fähig ist, hängt von der Natur des letzteren, von der Stärke des Streichmagneten und von der Methode des Streichens ab, so dass ein Stab, der durch die eine Streichmethode das durch dieselbe zu gewinnende Maximum seiner Stärke erlangt hat, fähig sein kann, durch andere Streichmethoden noch einen Zuwachs seiner Kraft zu erhalten. Dieser Zuwachs ist indess nicht immer dauernd. Nach sehr kräftigen Erregungen sinkt nämlich die Kraft mit der Zeit bis zu einem bestimmten Punkte wieder herab, welchen man den Sättigungspunkt nennt und welcher mit der Coërcitivkraft im genauen Zusammenhange steht. In Bezug auf den Werth der verschiedenen Streichmethoden, so ist nach Coulomb's Versuchen bei grösseren Dimensionen der Stäbe der Doppelstrich vorzuziehen; Moser hat aber in der neuesten Zeit gefunden, dass der Kreisstrich noch wirksamer als der gewöhnliche Doppelstrich sei.

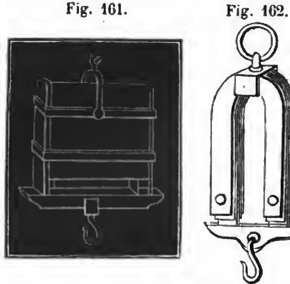
Nutzen der Anker. Die schon erwähnten Anker sind Stäbe aus weichem Eisen, deren Enden gegen die Polenden hufeisenförmiger Magnete gelegt werden, theils um den Magnetismus zu conserviren, theils um durch an sie angehängte Gewichte die Tragkraft zu bestimmen. Die Wirksamkeit der Anker beruht darauf, dass sie, durch Vertheilung stark magnetisch geworden, wieder vertheilend auf den Magneten zurückwirken und dessen Magnetismus erhöhen, andererseits durch diese Rückwirkung als beständige Quelle

magnetischer Erregung die Schwächung, welche leicht sich selbst überlassene Magnete erleiden, verhindern.

Verbindet man gerade Stäbe mit ihren gleichnamigen Polen zu einem Bündel, und giebt man denselben durch Anlegen von Platten aus weichem Eisen eine sogenannte Armatur (Fig. 161), so erregt jeder Punkt der Polfläche in der von ihm abgewendeten Platte durch Vertheilung gleichnamigen Magnetismus, so dass dort alle Antheile Magnetismus sich in einem zusammengedrängten Raume befinden und die Tragkraft des Magneten wird bedeutend erhöht. Gleiches geschieht, wenn man mehrere hufeisenförmige Magnete vereinigt (Fig. 162). Zusammengesetzte Magnete von grosser Stärke nennt man magnetische Magazine. Die Kraft eines zusammengesetzten Magneten ist stets geringer als die Summe der magnetischen Kräfte, welche die einzelnen Stäbe vor ihrer Vereinigung besassen.



Fig. 161. Fig. 162.



Die Tragkraft des Magneten wird durch die Armatur, nach Wolff, auf das 20—40fache erhöht; in einem Falle soll sie sogar bis auf das 320fache gestiegen sein. Die Armatur zeigt sich im Gegentheil ganz ohne Einfluss bei der Anziehung aus grösserer Ferne, wie bei der Ablenkung ferner Magnetnadeln, weil in diesem Falle der Entfernungsunterschied der verschiedenen Punkte der Polflächen verschwindend klein ist.

Aus der grossen Zerstreuung der anziehenden Punkte erklärt es sich auch, warum einige Felsen (wahrscheinlich durch eingesprengten Magneteisenstein befähigt) ablenkend auf die Magnetnadel einwirken, ohne dass feine Eisentheilchen an ihnen haften.

Wenn man die Tragkraft eines Magneten durch das Gewicht des Eisens bestimmen will, welches er zu tragen vermag, so muss man möglichst weiches Eisen nehmen, weil sich die Stärke der Anziehung wegen der Einwirkung der Coërcitivkraft nach der Beschaffenheit des Eisens richtet. Bei gleichmässig magnetisirten Stäben ist die Kraft beider Pole gleich. Steht die angezogene Masse gleichzeitig mit beiden Polen in Berührung, so ist die Grösse der Last, welche der Magnet tragen kann, grösser als die Summe der Gewichte, welche die Pole einzeln zu tragen ver-

mögen. Magnete sind gewöhnlich sogleich nach ihrer Erzeugung am stärksten. Ist der Magnet in einer solchen Lage, dass der Erdmagnetismus seinen vertheilenden Einfluss äussern kann, so wird der Magnet geschwächt, da die getrennten Magnetismen sich zum Theil wieder vereinigen. Diese Vereinigung wird durch Armirung oder durch Anlegung eines Ankers verhindert. Magnetnadeln, welche frei schwebend durch den Erdmagnetismus gerichtet sind, sind so zu sagen durch die Erde selbst armirt. Heftige Erschütterung schwächt die Magnete. Dasselbe geschieht durch Erwärmen. Nach dem Erkalten kehrt ein Theil des Magnetismus wieder zurück. Durch Erhitzen bis zur Glühhitze wird der Magnetismus vollständig aufgehoben. Die Weissglühhitze nimmt sogar dem Eisen die Eigenschaft, magnetisch werden zu können. Eisen wird während des Glühens vom Magneten nicht angezogen; es existirt daher auch für das Eisen eine Temperaturgrenze, über welche hinaus das Eisen für den Einfluss des Magnetismus unempfänglich ist; eine eben solche Grenze existirt auch für jedes andere Metall.

Diese Temperaturgrenze liegt, nach Versuchen, für das Kobalt weit über der Weissglühhitze, da es sich in den höchsten Temperaturen noch magnetisch zeigt. Für Chrom liegt die magnetische Grenze etwas unter der Temperatur des Rothglühens; für Nickel ungefähr bei 360° C.; für Mangan bei 20—25° C. Es ist indessen hier in Bezug auf das Mangan zu bemerken, dass die magnetische Kraft desselben zweifelhaft ist. Wenngleich Péclet zu zeigen versuchte, dass das Mangan bei niedriger Temperatur Magnetismus annehmen und dauernd beibehalten könne, ohne dass es denselben bei höherer Temperatur wieder verliere, so konnte dies doch von Faraday nicht bestätigt werden. Nichtsdestoweniger ist es sehr wahrscheinlich, dass für jeden Körper eine bestimmte Temperatur existirt, unterhalb welcher er, wie das Eisen, magnetisch ist, so dass alle Substanzen, bei hinreichend starker Abkühlung, wie Eisen von Magneten angezogen werden müssen.

Das weiche Eisen, welches als Anker oder als Armatur mit dem Magneten in Berührung steht, trägt durch die Rückwirkung des durch Vertheilung erzeugten Magnetismus zur Verstärkung des Magneten bei. Es ist daher möglich, die Menge Eisen, welche ein Magnet zu tragen vermag, durch kleine Zugaben bis zu einem gewissen Punkte zu vergrössern, oder den Magnet zu üben. Wird der Anker vom Magneten abgerissen, so nimmt der Magnet um einen Theil seiner Kraft ab; es ist daher nothwendig, den Anker langsam und gleichmässig nach der Seite hinabzuziehen.

Magnete von einigen Decigrammen Gewicht tragen oft das Fünfzigfache ihres Gewichtes, Magnete von einem Kilogramm Gewicht kaum das Zehnfache.

Während die Wärme einen nachtheiligen Einfluss auf den Magnetismus ausübt, soll die magnetische Kraft durch das Licht gesteigert werden. Derjenige Theil des weissen Sonnenlichtes, der nach der Zerlegung des Lichtes in seine Bestandtheile violett erscheint, soll nach Morichini Stahlnadeln in Magnete verwandeln. Man soll, nach Mary Sommerville, während die eine Hälfte einer solchen Nadel in Papier gehüllt ist, die andere Hälfte einige Stunden lang der Einwirkung des violetten Lichtes aussetzen, damit diese einen Nordpol, die zweite verhüllt gewesene Hälfte einen Südpol erhalte. Spätere Beobachter erhielten indess bei Wiederholung dieser Versuche negative Resultate (Hankel). Nadeln solten ferner Magnetismus annehmen, wenn man sie zur Hälfte bedeckt unter ein mit Kobaltoxydul blaugefärbtes Glas bringt und dem Sonnenlichte aussetzt.

Die von Faraday beobachtete Einwirkung des Magnetismus auf das Licht wird in dem Capitel vom Lichte besprochen werden.

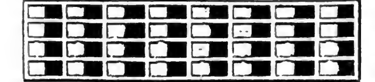
Magnetische Curven. Wenn man eine kleine, um ihren Schwerpunkt nach allen Seiten hin drehbare Magnetnadel einem magnetischen Körper nähert, so nimmt die Nadel eine stabile Gleichgewichtslage an, welche von ihrer Stellung gegen den magnetischen Körper und von dem magnetischen Zustande desselben abhängig ist. Denkt man sich die Nadel nach allen Richtungen hin um den magnetischen Körper herum in andere Lagen gebracht, so dass der eine dieser Pole stets den Platz erhält, welchen früher der andere einnahm, so entstehen durch die Richtungen der Nadel in den nach einander folgenden Gleichgewichtsstellungen die Tangenten einer krummen Linie, welche eine magnetische Curve heisst. Einem jeden Magnet gehört ein System von magnetischen Curven an, die von seinen Polen ausgehen und um denselben in sich mehr und mehr erweiternden Bogen herumlaufen. Diese magnetischen Curven kann man bei einem Magnetstabe sichtbar machen, wenn man auf einen Magneten ein Blatt Papier legt, das mit Eisenfeile bestreut ist.

Magnetisches Moment. Man versteht darunter das Product der magnetischen Kraft der einzelnen Magnettheilchen in die auf die magnetische Axe projicirte Entfernung dieser Theilchen von einem bestimmten aber beliebigen Punkte. Die Lage dieses Punktes ist auf die Momentensumme ohne allen Einfluss, da man anzunehmen berechtigt ist, dass in jedem Magnetstabe beide Arten des Magnetismus (der + M und der — M) in gleicher Quantität vorhanden sind. Die magnetische Axe heisst diejenige

Richtung in einem magnetischen Körper, welche sich beim freien Aufhängen in den magnetischen Meridian stellt.

Theorie der magnetischen Erscheinungen. Wenn man einen Magnet in noch so kleine Theilchen zerlegt, so stellt ein jedes dieser Theilchen einen mit ungleichnamigen Polen versehenen Magneten dar. Die Ursache der Polarität jedes Magneten ist daher in der Polarität seiner Theilchen zu suchen, deren Grösse für unsere Sinne verschwindend klein angenommen werden muss, und welche man magnetische Elemente nennt. Da Körper, welche Magnetismus anzunehmen fähig sind, durch Streichen mit einem Magneten magnetisch werden, ohne dass der Streichmagnet irgend eine Veränderung erleidet, so muss man annehmen, dass der Grund des Magnetischwerdens in dem betreffenden Körper schon ursprünglich liegt und durch eine von aussen, durch den Streichmagnet, einwirkende Kraft nur geweckt werde. Von den Hypothesen, die zur Erklärung der magnetischen Erscheinungen aufgestellt worden sind, hat die von Coulomb das Meiste für sich. Nach derselben stammt die magnetische Wirkung von zwei unwägbaren Flüssigkeiten her, von denen die eine die Ursache des + M, die andere die des — M ist. Die magnetischen Anziehungen und Abstossungen sind alsdann nur Anziehungen und Abstossungen, welche die Theilchen dieser Flüssigkeiten gegen einander ausüben. Dabei werden diese Flüssigkeitstheilchen zu sogenannten magnetischen Elementen gruppirt gedacht, die gleiche Quantitäten nordpolarer und südpolarer Flüssigkeit in sich einschliessen und durch sehr kleine Zwischenräume von einander getrennt sind, so dass sie sich weder einander nähern, noch von einander entfernen können. In den Elementen befinden sich, dieser Ansicht zu Folge, im unmagnetischen Zustande der Körper beide Flüssigkeiten innig mit einander gemischt. Im magnetischen Zustande hingegen werden diese Flüssigkeiten von einander getrennt gedacht, so dass von der nordpolaren Flüssigkeit ein Theil sich an einem Theile der Oberfläche des Elementes angesammelt findet, ein gleicher Theil der südpolaren dagegen an der entgegengesetzten Seite des Elementes. Die Vertheilung der magnetischen Flüssigkeiten findet daher in der Weise statt, dass die gleichartige Flüssigkeit in allen Theilen nach derselben Seite hingekehrt ist. An dem linken Ende des Fig. 163 dargestellten Magneten ist also nur die eine, am rechten

Fig. 163.



Ende nur die andere Flüssigkeit vorhanden. Die Polarität des Magneten ist mithin erklärt. Man begreift nach dieser Vorstellungsweise sehr gut, warum ein durchbrochener Magnet nicht in seinen Hälften die beiderlei magnetischen Agentien gesondert enthält, sondern vielmehr jedes Bruchstück eines Magneten sich als vollständiger Magnet erweist.

Die Coërcitivkraft (d. h. die Kraft, welche einen Körper befähigt, dauernd Magnetismus anzunehmen) hat ihren wahrscheinlichen Grund darin, dass der wägbare Stoff, in welchem sich die magnetischen Elemente befinden, der Trennung der beiderlei Flüssigkeiten innerhalb des Elementes einen grösseren oder geringeren Widerstand entgegensetzt.

In den Körpern ohne Coërcitivkraft geschieht die Trennung mit Leichtigkeit, daher die leichte Magnetisirbarkeit durch Vertheilung. In den Körpern, in denen bei der Trennung ein grösserer Widerstand zu überwinden ist, und welche daher nur langsam Vertheilungsmagnetismus annehmen, hält dieser Widerstand die Wiedervereinigung der beiderlei Flüssigkeiten auf — daher die Eigenthümlichkeit derselben, den einmal angenommenen Magnetismus bleibend an sich zu halten.

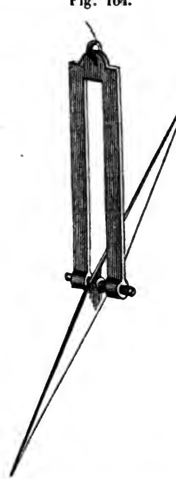
Die Abhängigkeit der Stärke der Anziehung und Abstossung zweier magnetischen Moleküle von der Entfernung betreffend, nahm Coulomb an, dass dieselbe ***dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional sei,*** welches Gesetz durch Gauss bei Gelegenheit seiner analytischen Untersuchungen der Gesetze des Erdmagnetismus die schönste Bestätigung erhielt.

Vom Erdmagnetismus. Aus der bestimmten Richtung, die eine freischwebende Magnetnadel annimmt, lässt sich schliessen, dass die Erde ein Magnet sei. Die von dem Erdkörper ausgehende Kraft, welche die Magnetnadel veranlasst, eine genau bestimmte Richtung anzunehmen, nennt man den Erdmagnetismus. Dass in der That eine solche Kraft existire, geht aus folgenden zwei Versuchen hervor. Bringt man in den Schwerpunkt einer nicht magnetischen Stahlnadel eine Axe an und befestigt man die beiden Endpunkte dieser Axe auf zwei horizontalen Grundlagen, so ist die Nadel in einer jeden Lage im Gleichgewichte. Wird aber die Nadel sodann magnetisirt, so bleibt sie nicht mehr in jeder Lage stehen, sondern wird eine bestimmte Stellung annehmen, in welche sie stets wieder zurückkehrt, so oft man sie daraus entfernt; die Nadel wird, wenn man den Versuch in der nördlichen Hälfte der Erde anstellt mit ihrem Nordpole sich unter den Horizont stellen und zwar um so tiefer, je mehr man sich vom Aequator aus dem Nordpol nähert. Für unsere Gegenden hat die Mag-

netnadel eine Richtung von Nord-Nordwest nach Süd-Südost. Die Nadel nimmt, wie gesagt, stets diese Richtung an, kehrt man ihre Pole ganz um, so beschreibt sie einen vollen Halbkreis und geht in ihre anfängliche Gleichgewichtslage zurück.

Ein Stab von weichem Eisen zeigt in der horizontalen Lage keinen Magnetismus; bringt man denselben aber in die Richtung, welche die Magnetnadel hat, so nimmt der Stab durch den Einfluss des Erdmagnetismus selbst Magnetismus an, und wird zu einem polaren Magnet. In der horizontalen Lage verliert derselbe seinen Magnetismus wieder.

Fig. 164.



Die verticale Ebene, welche man sich durch die Richtung einer horizontalen Magnetnadel gelegt denken kann, nennt man, wie schon erwähnt[1], den magnetischen Meridian, und den Winkel, den dieser mit dem geographischen Meridian bildet, die Declination (Abweichung). Unter der Inclination (Neigung) versteht man den Winkel, den die Richtung des Nordpoles der Magnetnadel mit der Horizontalebene bildet. Eine solche Inclinationsnadel, welche also die magnetische Neigung angeben soll, erhält man am einfachsten, wenn man eine Magnetnadel entweder in ihrem Schwerpunkte an einem Faden aufhängt, oder diese Nadel an eine durch ihren Schwerpunkt gehende horizontale Axe befestigt (Fig. 164).

Zur ungefähren Bestimmung der Declination bedient man sich einer Magnetnadel, die sich vermittelst eines Achathütchens auf einer Spitze von hartem Holze dreht; dieselbe Spitze ist zu gleicher Zeit der Mittelpunkt eines getheilten Horizontalkreises, der in seiner eigenen Ebene um eine verticale Axe gedreht werden kann.

Die Nadeln selbst werden aus Uhrfederstahl verfertigt, gehärtet und dann temperirt, indem man sie von der Mitte aus blau anlaufen lässt; damit man die Pole leichter unterscheiden kann, entfernt man durch Abschleifen die blaue Farbe von der einen Hälfte der Magnetnadel und magnetisirt dieselbe dann auf die gewöhnliche Weise.

Eine Declinationsnadel, horizontal über einer Kreiseintheilung schwebend und in einer hölzernen oder messingenen cylindrischen

Büchse eingeschlossen, macht das Wesen des Compasses oder der Boussole aus.

Die Compasse werden benutzt, um dem Schiffer auf der See stets die Richtung seines Schiffes in Bezug auf die Weltgegend anzugeben, dem Geometer und dem Markscheider, sich zu orientiren, Winkel zu messen u. s. w. Dieses Instrument leistet in allen Fällen Dienste, wo es darauf ankommt, Objecte, wie Fernröhre u. s. w. in der Richtung nach einer bestimmten Weltgegend hin aufzustellen. — Die Nadel desjenigen Compasses, der zur Bestimmung des Laufes der Schiffe dient (der Schiffs- oder Steuercompass), befindet sich auf einer kreisförmigen, auf Marienglas geklebten Papierscheibe (der Windrose), deren Rand in 360 Theile getheilt ist, und welche überdies auf ihrer Fläche eine besondere Theilung in 32 Theile (die Striche der Windrose) enthält, denen von Norden nach Osten herum die bekannten Bezeichnungen N, NiO, NNO, NOiN, NO, NOiO, ONO, OiN, O u. s. w. beigefügt sind. Sie befindet sich zunächst in einer cylindrischen, oben offenen Dose, die an zwei gegenüber liegenden Punkten in einem Ringe aufgehängt ist, während dieser Ring wieder durch zwei Stifte, welche von jenen Stützpunkten um 90° abstehen und in einem hölzernen, oben mit einem Glasdeckel versehenen Kasten befestigt sind, so getragen wird, dass er sich um diese Stifte frei bewegen und der Compass an den Schwankungen des Schiffes nicht theilnehmen kann.

Der magnetische Aequator. Je mehr man sich vom Aequator dem Norden oder dem Süden nähert, je grösser wird im Allgemeinen die Inclination; in der Nähe des Nord- und Südpoles giebt es selbst Orte, an welchen die Inclinationsnadel senkrecht steht, an welchen also die Inclination gleich null ist.

Capitän Ross hat für die nördliche Halbkugel diesen Punkt, in welchem die Inclination verschwindet, in der That erreicht; er fand ihn unter 70° 5′ nördlicher Breite und 263° 14′ östlich von Greenwich.

Verbindet man alle diese Punkte, in denen sich die Nadel horizontal stellt, also ***alle Orte ohne Inclination durch eine Linie, so erhält man den magnetischen Aequator,*** der aber nicht mit dem Erdäquator zusammenfällt, sondern eine Linie von doppelter Krümmung bildet und den Erdäquator in zwei Punkten schneidet. Von dieser Linie ohne Inclination ist die letztere nach Norden und nach Süden hin im Zunehmen. Verbindet man die Orte von gleicher Inclination mit einander, so erhält man eine isoclinische Linie.

Aus dem Vorstehenden geht hervor, dass, wenn die Inclinationsnadel horizontal steht, sie sich über dem magnetischen Pole befinden muss. Diese Pole fallen aber mit den geographischen Polen nicht zusammen, so dass eine Linie, welche die beiden magnetischen Pole verbindet, nicht durch den Mittelpunkt der Erde geht.

Nach Kreil's Beobachtung erreicht die tägliche Variation der Inclination dreimal während des Tages ihr Maximum; das erste Maximum ist zu bemerken im Sommer zwischen 8 und 9 Uhr, im Winter zwischen 10 und 11 Uhr Morgens, das zweite während des ganzen Jahres um 3 Uhr Nachmittags und das dritte nach Mitternacht. Das erste Minimum ist gegen Mittag, das zweite in den späten Abendstunden, das dritte in den Morgenstunden.

Die Declination der Magnetnadel ist ebenso wie die Inclination nicht überall gleich, sie ändert sich aber auf einem und demselben Orte mit der Zeit, und diese Aenderungen sind zum Theil periodisch (und es lässt sich hierbei eine tägliche und eine jährliche Periode unterscheiden), zum Theil nicht periodisch. Diese letzteren sind wieder zum Theil oscillatorisch, unregelmässig und von kurzer Dauer, zum Theil solche, die erst nach längeren Zeiträumen bemerkbar werden. Die Declination des magnetischen Nordpoles vom geographischen Meridiane ist entweder eine westliche wie in ganz Europa, oder eine östliche wie im westlichen Asien, und an sehr vielen Orten ist sie null. Wenn man alle Punkte auf der Erdoberfläche, an welchen die Declination gleich Null ist, an welchen die Magnetnadel genau nach dem Nord- oder Südpol zeigt, mit einander verbindet, so erhält man zwei Linien; die eine grössere läuft um die Erde herum von Nordamerika nach Südamerika durch den Südpol der Erde, durch Neuholland, Arabien, Russland und den Nordpol zurück nach Nordamerika; die andere derselben ist kleiner und oval und läuft mit ihrer Westhälfte durch China, Ostsibirien, mit ihrer Osthälfte durch den benachbarten Ocean.

Diejenige Linie, welche Orte von gleicher Declination mit einander verbindet, heisst eine isogonische Linie.

Wegen der Variationen der Declination gelten geographische Karten, in welche isogonische Linien eingezeichnet sind, nur für einen bestimmten Zeitpunkt.

Die tägliche Periode der Variation der Declination hängt unverkennbar mit der täglichen Wärmeperiode zusammen und daher fällt sie auch für verschiedene Tage und Jahreszeiten verschieden aus. Im Allgemeinen kann man indess sagen, dass die Nadel am westlichsten zwischen 1—2 Uhr Mittags, am östlichsten etwa um 8 Uhr Morgens steht.

Nach Schüble ist die tägliche Variation der Magnetnadel auch von der Witterung abhängig, und nach Kämtz sollen die Winde einen Einfluss in der Art ausüben, dass die Declinationsnadel bei Nord- und Nordostwinden nördlicher zeige, als bei West- unr Südwestwinden.

In Bezug auf die jährliche Periode scheint der westlichste Stand dem Sommer (dem Monat August), der östlichste dem Winter (dem Monat Februar) anzugehören.

Die regelmässigen Veränderungen, die sich erst nach längeren Zeiträumen bemerkbar machen, nennt man seculäre Veränderungen. Zur Zeit der Compassentdeckung wich die Richtung einer nur in einer Horizontalebene beweglichen Magnetnadel nur wenig vom astronomischen Meridiane ab, im Jahre 1580 war die Declination in Paris östlich und machte ungefähr 11° 30′ aus, im Jahre 1663 war sie = 0; seitdem ist sie wieder westlich geworden. 1814 erreichte die westliche Declination ihr Maximum von 22° 34′; von dieser Zeit ging der Nordpol der Nadel wieder nach Osten und auch jetzt noch dauert die Abnahme der westlichen Declination fort. Man kann erwarten, dass der magnetische Meridian mit dem astronomischen wieder zusammenfallen und dass dann die Declination eine östliche werden wird.

Die Intensität des Erdmagnetismus ist an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten verschieden. Die Intensität ist im Allgemeinen in der Nähe des Aequators geringer und nimmt zu mit der Annäherung an die Pole. Diejenigen Linien auf der Erdoberfläche, welche die Orte gleicher Intensität des Erdmagnetismus mit einander verbinden, nennt man isodynamische Linien oder Isodynamen. Diese Linien sind geschlossene Curven, welche mit dem magnetischen Aequator nicht parallel sind und ungefähr mit dem später bei dem Abschnitte von der Wärme zu erwähnenden Isothermen übereinstimmen.

Nach Gauss befinden sich auf der nördlichen Halbkugel zwei Punkte, an welchen die Intensität des Erdmagnetismus ihr Maximum erreicht hat; der eine dieser Punkte liegt in Nordamerika, westlich von der Hudsonsbay, der andere in Sibirien. Auf der südlichen Halbkugel giebt es ein Maximum der Intensität in der Nähe des Südpoles. Die beiden Maximen der Intensität liegen in der Nähe des Aequators, und zwar der eine nördlich von Neuholland, der andere in der Nähe von St. Helena.

Um die Intensität des Erdmagnetismus zu messen giebt es zwei Methoden. Nach der ersten kann man sie aus der Schwingungsdauer einer in Schwingungen versetzten Magnetnadel von bestimmter Stärke bestimmen; nach der zweiten aus der Ablenkung, welche eine Magnetnadel von bestimmter Kraft durch einen anderen Magnet von gegebener Stärke erfährt.

Der ersten Methode bediente sich Borda; sie gründet sich darauf, dass eine aus ihrer Gleichgewichtslage gebrachte Magnetnadel unter dem Einflusse des Erdmagnetismus wie ein Pendel

schwingt und die beschleunigenden Kräfte, wie schon angeführt worden ist, den Quadraten der Schwingungszeiten proportional sind. Ist M = der magnetischen Kraft, welche die Nadel an einem gewissen Punkte beschleunigt, N = der Anzahl der Schwingungen, so hat man für das Verhältniss der beschleunigenden Kräfte an diesen beiden Orten der Erde: $M : m = N^2 : n^2$. Man kann daher, vorausgesetzt dass man stets dieselbe Nadel anwendet und dass dieselbe ihre magnetische Kraft nicht ändert, die Intensität des Erdmagnetismus für verschiedene Zeiten und verschiedene Orte durch Beobachtungen ihrer Schwingungszeiten vergleichen.

Man erhält auf diese Weise die vollständige Intensität oder deren horizontale Componente, je nachdem man eine Inclinations- oder eine Declinationsnadel anwendet. Da aber die Inclinationsnadel in sehr grosse Schwingungen versetzt werden muss und überdies die Reibung einen störenden Einfluss ausübt, so bestimmt man nur die horizontale Intensität, da sich mit Hülfe der Inclination die Totalintensität berechnen lässt.

Der zweiten Methode, die Intensität des Erdmagnetismus aus der Ablenkung der Magnetnadel zu bestimmen, bediente sich Gauss.

Die Ablenkung der Magnetnadel nennt man den Winkel, um welchen neu hinzutretende magnetische Kräfte eine Magnetnadel aus ihrer Gleichgewichtslage lenken.

Um die täglichen Variationen der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus leicht und sicher bestimmen zu können, hat Gauss ein Instrument erfunden, welches er Bifilar-Magnetometer nennt. Es besteht im Wesentlichen aus einem Magnetstabe, der horizontal an zwei Fäden aufgehängt ist, so dass, wenn der Stab nicht magnetisch wäre, die beiden Fäden mit der durch den Schwerpunkt des Stabes gehenden Verticalen in einer Ebene liegen und sowohl die oberen als auch die unteren Befestigungspunkte der Fäden von dieser Verticalen gleich weit entfernt sind. Wird die Nadel aus der Gleichgewichtslage entfernt, so erleiden die Fäden eine Windung und es entsteht ein Bestreben, die frühere Gleichgewichtslage wieder herzustellen. Die Kraft, mit welcher die Fäden in ihre frühere Lage zurückstreben, ist bei jedem Ablenkungswinkel um so grösser, je weiter sie von einander entfernt sind. Die geringste Aenderung in der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus verursacht eine Entfernung des Magnetstabes aus seiner Gleichgewichtslage; je stärker diese Intensität wird, je mehr nähern sich die Magnetnadeln dem magnetischen Meridiane, und umgekehrt bei abnehmender Intensität.

Bestimmung der Richtung und Grösse der magnetischen Kraft. Es ist bereits Seite 213 angegeben worden, dass die Axe eines frei aufgehängten magnetischen Körpers die Richtung des Erdmagnetismus anzeigt. Diese Richtung wird durch die Declination und Inclination angegeben; zur Ermittelung der Grösse derselben ist es, wie schon erwähnt, genügend, wenn die Inclination schon gefunden worden ist, die Intensität der horizontalen oder der verticalen Componente des Erdmagnetismus zu kennen, um dann die Totalintensität zu berechnen. Zur Beobachtung der Declination, Inclination und Intensität dienen die Declinatorien, Inclinatorien und Magnetometer, die in der neuesten Zeit, Dank den Forschungen eines Weber, Gauss und eines Hankel, einen hohen Grad von Vollkommenheit erlangt haben. Es kann hier nicht in die nähere Beschreibung der verschiedenen complicirten Constructionen dieser Instrumente eingegangen werden; es mag daher genügen in der Kürze das Wesen eines Declinatoriums, eines Inclinatoriums und eines Magnetometers anzudeuten.

Unter Declinatorium versteht man jedes Instrument, das zur Bestimmung der magnetischen Abweichung (Declination) und der Variation derselben dient. Auf der See benutzt man dazu den Azimuthalcompass.

Dieser Azimuthalcompass unterscheidet sich von einem gewöhnlichen Compass nur dadurch, dass anstatt der Windrose ein leichter, versilberter, in Grade eingetheilter Kreis von Messing angebracht ist. Man misst mit demselben das magnetische Azimuth der im Horizonte befindlichen Sonne, während man aus den Navigationsbüchern die Lage der Sonne gegen den astronomischen Meridian bestimmt. Unter Azimuth versteht man bekanntlich den Abstand des Höhenkreises von dem Meridiane.

Für genauere Bestimmungen, wie sie nur auf dem Lande möglich sind, benutzt man am meisten ausser dem Gauss'schen Magnetometer das Declinatorium von Gambey, das Declinatorium von Prony und das Coulomb'sche Declinatorium, welches letztere zur Messung der Variationen der Declination dient.

Das Wesen dieser Apparate besteht im Allgemeinen darin, dass man einen Magnetstab in horizontaler Lage an einem Coconfaden oder an einem Bündel ungedrehter Seidenfäden so aufhängt, dass er von Störungen durch Luftzug, durch benachbarte Eisenmassen u. s. w. geschützt ist. Damit die unbedeutendste Veränderung der Lage der magnetischen Axe des Stabes gegen den magnetischen Meridian wahrgenommen werden kann, trägt derselbe einen kleinen Planspiegel, in welchem man das Bild einer fixen Scala vermittelst eines Fernrohres betrachtet. Richtet man hierauf das Fernrohr auf einen fernen Gegenstand, dessen astronomisches Azimuth bekannt ist, und liest dann dessen Winkelab-

stand vom Nullpunkte der Theilung ab, so hat man die nöthigen Daten für die Berechnung der Declination.

Inclinatorium ist der Name für diejenigen Instrumente, die zur Messung der magnetischen Neigung (Inclination) dienen. Diese Apparate gründen sich darauf, dass man 1) eine in einer verticalen Ebene bewegliche Magnetnadel beobachtet; 2) die Schwingungsdauer oscillirender Magnetnadeln und 3) die Ablenkung einer Declinationsnadel, welche ein durch den Erdmagnetismus inducirten galvanischen Strom verursacht, beobachtet. Auf letztere Weise wird die Inclination vermittelst des von W. Weber beschriebenen Inductions-Inclinatorium (siehe Induction) bestimmt.

Das gebräuchlichste Inclinatorium besteht aus einem verticalen, getheilten Kreise, an dessen Seiten sich zwei Stützen befinden, welche die Pfannen für die horizontale Axe einer Magnetnadel enthalten. Die Axe geht genau durch den Mittelpunkt des getheilten Kreises, sowie durch den Schwerpunkt der Nadel und ist äusserst beweglich. Die Beobachtung der Gleichgewichtslagen der Magnetnadel geschieht auf ähnliche Weise, wie bei dem Declinatorium. Es ist aber eine noch nicht überwundene Schwierigkeit, den Schwerpunkt einer Magnetnadel mit Sicherheit zu bestimmen, da Nadeln schon während ihrer Fabrikation mehr oder weniger Magnetismus annehmen und ein durch Abgleichung der Nadelarme hergestelltes Gleichgewicht nur dann allein der Schwere zugeschrieben werden kann, wenn kein Magnetismus in der Nadel vorhanden ist.

Ein **Magnetometer** hat die Bestimmung, von den drei die Wirkung des Erdmagnetismus an einem bestimmten Orte und zu einer bestimmten Zeit bezeichnenden Elementen: Declination, Inclination und Intensität, zwei, nämlich die Declination vollständig, und von der Intensität die horizontale Componente und mit Hülfe der anderswoher bekannten Inclination die Totalintensität zu ermitteln.

Das vorzüglichste Magnetometer ist das von Gauss. Dasselbe besteht aus einem mehrere Pfund schweren Magnetstabe, der in einer Messinghülse liegt, welche von einem ungedrehten Coconfaden getragen wird. An dem einen Ende des Stabes befindet sich ein Spiegel. Dem Spiegel gegenüber, etwas höher als derselbe und nahe im magnetischen Meridian des Stabes, steht ein Theodolith (ein Instrument, das die Construction und Einrichtung des bei astronomischen Messungen häufig benutzten Multiplicationskreises hat, sich von dem letzteren aber dadurch unterscheidet, dass der Horizontalkreis der wichtigere ist; man benutzt den Theodolithen hauptsächlich zu geodätischen Messungen, beim Nivelliren der Eisenbahnen u. s. w.). Am Stativ des Theodolith's ist eine in Millimeter getheilte, horizontal laufende Scala angebracht. Durch das Fernrohr sieht man im Spiegel einen Theil der Scala und beobachtet, welcher Theilstrich durch den Ocularfaden gedeckt wird. Aendert sich die Lage des Stabes, so tritt ein anderer Theilstrich hinter den Ocularfaden. Der Werth des Abstandes

zweier Theilstriche wird nach der bekannten Entfernung des Fernrohres und der Scala vom Spiegel gefunden. Ueber der Mitte des Objectives des Fernrohres hängt ein feiner, durch ein Gewicht gespannter Faden herab und bezeichnet auf der Scala den Punkt, der mit der optischen Axe des Fernrohres in derselben Verticalebene liegt. Zur Wahrnehmung einer selbst unbedeutenden Veränderung in der Lage des Fernrohrs dient ein Strich (eine Mire) an der gegenüberstehenden Wand des Locales, in welchem das Instrument aufgestellt ist, den man ohne Verstellung des Oculars des Fernrohrs deutlich sehen kann, und der stets mit dem Ocularfaden übereinstimmen muss. Für die Bestimmung des Azimuth's der Mire ist es sehr zweckmässig, wenn vom Theodolithen aus ein mässig entfernter fester Gegenstand, wie z. B. ein Thurm oder ein Haus sichtbar ist. Zur genauen Zeitbestimmung ist eine astronomische Uhr neben dem Theodolithen erforderlich. Das Magnetometer muss in einem eisenfreien Locale aufgestellt sein.

Der bedeutende Einfluss, welchen in der Nähe einer Magnetnadel befindliches Eisen auf die Richtung und Bewegung der Nadel ausüben muss, macht es erforderlich, dass bei magnetischen Beobachtungen jede Störung von Seiten des Eisens oder magnetischer Körper verhindert werde. Deshalb stellt man die im Vorhergehenden angeführten Versuche über Declination, Inclination und Intensität in isolirten, eisenfreien Gebäuden, in magnetischen Observatorien an. Bei Beobachtung der Magnetnadeln auf der See muss der Einfluss des Eisens, dass sich in ziemlich bedeutender Menge auf einem Schiffe vertheilt befindet, compensirt werden. Zu diesem Zwecke bestimmt man zuerst die Declination ausserhalb des Schiffes und untersucht darauf, indem das Schiff nach allen Seiten gedreht wird, bei welcher Lage die Declination des Compasses auf dem Schiffe von der vorher ausserhalb desselben bestimmten am meisten verschieden ist. Eine auf diese Richtung des Schiffes senkrecht und durch die Mitte des Compasses gezogene Linie muss nothwendigerweise den Mittelpunkt der magnetischen Anziehung des Schiffseisens enthalten, und es ist klar, dass, wenn man in der Verlängerung dieser Linie auf diejenige Seite des Compasses, welche der Spindel der Ankerwinde (des Kabestans), als dem Hauptgrund zur Störung des Compasses, entgegengesetzt ist, eine Eisenmasse bringt, der Einfluss des Schiffeisens auf die Magnetnadel des Compasses aufgehoben ist.

In Beziehung auf den Ursprung des Erdmagnetismus sind viele und mitunter sehr complicirte Theorien aufgestellt worden. Nach den meisten dieser Theorien ist der Erdmagnetismus das Produkt elektrischer Ströme (Ampère und Barlow); alle diese Ansichten wurden aber durch die Theorie von Gauss verdrängt, welche Theorie, auf die Voraussetzung einer Scheidung der magnetischen Stoffe in den Theilchen der Erde aus den be-

reits gewonnenen Resultaten der Beobachtungen über Declination, Inclination und Intensität des Erdmagnetismus basirt, den magnetischen Zustand eines jeden Punktes der Erdoberfläche mit genügender Genauigkeit vorherbestimmen lässt.

Zweiter Abschnitt.

Von der Elektricität.

Schon in den ältesten Zeiten hatte man beobachtet, dass der Bernstein (ἤλεκτρον, Elektron) durch Reiben vorübergehend die Eigenschaft annehme, leichte Körper an sich zu ziehen; aber erst im Laufe des letzten Jahrhunderts erkannte man in jener Erscheinung einen speciellen Fall der Wirksamkeit einer allgemeinen Ursache gewisser Erscheinungen, welche man mit dem Namen Elektricität belegte. Dieselbe äussert sich in den Körpern, in denen sie thätig ist, auf zweierlei Art, entweder als Anziehung oder Abstossung, die von diesen Körpern auf andere in der Nähe befindliche Körper ausgeübt wird, oder als eine Kraft, welche der Magnetnadel eine bestimmte Richtung zu geben strebt. Die erstere nennt man Elektricität im ruhenden oder Spannungszustande, die zweite Elektricität in Bewegung oder strömende Elektricität.

Die elektrische Anziehung unterscheidet sich wesentlich von der magnetischen. Bei der ersteren tritt auf die Anziehung sogleich eine Abstossung ein, sowie der betreffende Körper berührt worden ist, bei der letzteren aber nicht.

Den Zustand hervorrufen, in welchem ein Körper leicht bewegliche Stoffe an sich zieht, heisst man elektrisiren.

Zur Kenntniss der Grundgesetze, welche sich an die Wirkungen der Elektricität knüpfen, gelangt man am besten durch folgende Thatsachen.

Wenn man eine Glasröhre der Länge nach mit einem wollenen Lappen oder besser noch mit einem Lederstückchen reibt, das mit einem Amalgam von Quecksilber, Zinn und Zink bestrichen ist, so zieht diese so geriebene Röhre leichte Körper, wie Goldflitter, Papierschnitzel, Kügelchen von Hollundermark, Sägespäne etc. an und stösst dieselben sogleich nachher wieder ab.

Eine ähnliche Wirkung bringt eine mit Tuch geriebene Siegellackstange hervor. Bei hinreichendem Reiben und bei gehöriger Stärke der Röhre bemerkt man im Finstern einen bläulichen Lichtschein, welcher dem reibenden Lappen folgt; nähert man nach dem Reiben den Finger einer geriebenen Stelle, so bemerkt man helle, knisternde Funken und bei längere Zeit fortgesetztem Reiben einen unangenehmen Ozongeruch, welcher lebhaft an den des Phosphors erinnert. Bringt man die Röhre nach dem Reiben in die Nähe des Gesichtes, oder der Haare, so hat man eine Empfindung, als wäre man in ein Spinnennetz gerathen. Das sicherste Kennzeichen des elektrischen Zustandes ist die Erscheinung der Anziehung und Abstossung, welche bei Anwendung passender Apparate, die später unter dem Namen Elektroscope beschrieben werden, schon bei den schwächsten Graden der Elektricität deutlich hervortritt.

Während Körper, wie Bernstein, alle Harze, Glas, Schwefel u. s. w. durch Reiben stark elektrisch werden, scheinen die Metalle nicht elektrisch werden zu können, denn, wenn eine Metallstange, welche man mit der einen Hand hält, mit der andern auch noch so stark gerieben wird, so zeigt dieselbe doch nicht die geringste Spur von Anziehung. Man pflegte deshalb früher alle Körper einzutheilen in solche, welche durch Reiben elektrisch werden und in solche, welche diese Eigenschaft nicht haben. Erstere nennt man idioelektrische Körper, letztere anelektrische Körper. Jedoch auch Metalle können elektrisch werden, wie sogleich in Folgendem gezeigt werden soll.

Wenn man mit einem elektrisirten Körper einen anderen nicht elektrisirten berührt, so besitzt auch der letztere Elektricität, und es hat der elektrisirte Körper genau so viel Elektricität verloren, als der vorher nicht elektrisirte aufgenommen hat. Man sagt in diesem Falle, es sei dem letzteren Körper Elektricität mitgetheilt worden. In Bezug auf die Leichtigkeit, mit der die Körper Elektricität annehmen und abgeben, findet eine grosse Verschiedenheit statt. Einige Körper, wie Harz, Glas, Seide, trockene Luft etc. nehmen von den elektrisirten Körpern die Elektricität nur an den Berührungsstellen an und halten sie daselbst hartnäckig fest, ohne sie durch ihre Masse hindurchzuleiten. Man nennt solche Körper schlechte Leiter der Elektricität, häufiger, wenn auch ohne Grund Nichtleiter oder Isolatoren. Andere Körper und besonders die Metalle, lebende Thiere und Pflanzenkörper, Wasser, feuchtes Erdreich, feuchte Luft u. s. w. verbreiten die Elektricität von der Berührungsstelle sogleich über ihre Oberfläche; man

nennt solche Körper **Leiter** der Elektricität. Daraus erklärt sich, warum ein Metallstab, welchen man in der Hand hält, beim Reiben keine Elektricität zeigt, da dieselbe sogleich durch den menschlichen Körper abgeleitet wird. Ein Leiter der Elektricität, der überall von Nichtleitern umgeben ist, heisst **isolirt**; auf einen Metallkörper kann man daher nur dann Elektricität anhäufen, wenn derselbe durch Harz, Glas, Seide, überhaupt durch Isolatoren von andern Leitern getrennt worden ist. Ein isolirter Leiter ist nur an seiner Oberfläche, nicht in seinem Innern elektrisch.

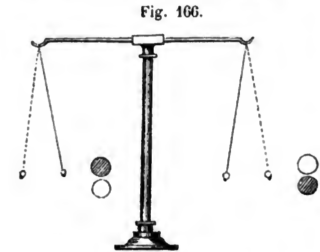
Fig. 165.



Wenn man ein leichtes Kügelchen aus einer die Elektricität leitenden Substanz, z. B. aus Hollundermark, an einem Seidenfaden aufhängt (Fig. 165), und demselben eine geriebene Glas- oder Siegellackstange nähert, so wird es **angezogen**, bleibt einige Augenblicke an der Stange haften und wird dann wieder abgestossen. Es ist klar, dass in diesem Falle das Kügelchen von der Stange Elektricität empfangen hat, in Folge dessen es von der an der Stange zurückgebliebenen Elektricität abgestossen wird. Befreit man das Kügelchen durch Berühren mit der Hand von der Elektricität, so beginnt die Anziehung von Neuem.

Nimmt man aber zwei isolirte Pendel (Fig. 166), von welchen das eine durch Berührung mit einer Glasstange, die mit Seide gerieben worden war, das andere durch eine mit Pelz geriebene Siegellackstange elektrisch gemacht worden ist, so beobachtet man, dass das eine dieser Kügelchen, welches durch die Glasstange abgestossen wird, durch die Siegellackstange angezogen, das vom Siegellack abgestossene aber durch das Glas angezogen wird. Dieser Versuch lehrt, dass es zwei verschiedene Arten von Elektricität giebt, dass die Elektricität des geriebenen Glases nicht identisch mit der des Harzes ist, weil die eine das anzieht, was die andere abstösst. Man bezeichnet die eine dieser beiden Elektricitäten mit dem Namen **Glaselektricität**, **positive** oder

Fig. 166.



+Elektricität, und die andere Harzelektricität, negative oder —Elektricität. Da nach der Erfahrung jede Elektricität nach allen bekannten Arten entwickelt, sich entweder wie positive oder wie negative Elektricität verhält, so folgt daraus, dass es nur zwei Arten von Elektricität giebt.

Aus dem im Vorstehenden entwickelten verschiedenen Verhalten der beiden Elektricitäten folgt der Satz: ***Gleichnamig elektrisirte Körper stossen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an.***

Das Fig. 166 abgebildete Pendel ist unter dem Namen des Kugelelektroskopes bekannt; vermittelst desselben kann man untersuchen, ob ein Körper + oder —elektrisch sei, oder ob er überhaupt Elektricität besitze. Zieht der betreffende Körper das im natürlichen (unelektrischen) Zustande befindliche Kügelchen an, so ist derselbe elektrisch. Um zu entscheiden, welche Art von Elektricität der Körper besitze, muss dem Kügelchen vorher positive Elektricität und darauf negative ertheilt werden, ehe man untersucht, ob der zu prüfende Körper angezogen oder abgestossen werde.

Beide Elektricitäten stehen mit einander in einem solchen Gegensatze, dass die eine die Wirkung der andern zum Theil oder gänzlich aufzuheben vermag. Um dies zu beweisen, braucht man nur einem isolirten Leiter erst +Elektricität, dann —Elektricität mitzutheilen. Es wird der elektrische Zustand fortwährend abnehmen und endlich ganz verschwinden, so dass sich der Leiter unelektrisch zeigt. ***Die positive Elektricität und die negative Elektricität verhalten sich zu einander wie zwei entgegengesetzte Grössen, die sich nach Massgabe ihrer Quantität aufheben.***

Der unelektrische Zustand eines Körpers kann schon durch blosse Fernwirkung eines bereits im elektrischen Zustande befindlichen Körpers aufgehoben werden. Ist der eine Leiter *A* nicht elektrisch (also gleiche Quantitäten +E. und —E. enthaltend), während ein anderer Leiter *B* +elektrisch ist, so wird ein Theil der —Elektricität des ersten von der +Elektricität des anderen Leiters angezogen, und sammelt sich an der demselben zugewendeten vorderen Seite; die entsprechende +Elektricität wird abgestossen und sammelt sich an der hinteren Seite. Es wird alle —Elektricität von A sich vorn sammeln, wenn nicht die zugleich in demselben Körper befindliche +Elektricität auf seine negativen Nachbartheilchen anziehend einwirkt. Die abgesonderte Menge —Elektricität wird daher um so grösser, je näher B ist, also je

stärker dessen anziehende und abstossende Wirkung ist. Die angezogene und abgestossene Elektricität zeigen aber ein wesentlich verschiedenes Verhalten. Diese theilt sich jedem berührenden, nicht elektrischen Körper mit, jene nicht. Daher nennt man diese freie, jene gebundene Elektricität.

Aus dem Vorstehenden folgt, dass der Grund, aus welchem unelektrische Körper von elektrischen angezogen werden, darin liegt, dass die einander zugewendeten Seiten derselben entgegengesetzt elektrisch sind. Hängen zwei gleiche Hollundermarkkügelchen an Coconfäden neben einander, und nähert man ihnen von unten einen elektrischen Körper, so werden die gegenüberliegenden Theilchen beider Körper gleichnamig elektrisch und sie stossen sich demnach ab. Nimmt man ihnen durch Berührung ihre freie Elektricität, so nimmt die Abstossung, die jetzt nur noch von der gebundenen Elektricität abhängt, sehr merklich ab, weil dieselben durch den nahen elektrischen Körper beschäftigt werden. Nach der Entfernung des letzteren dagegen fällt diese Beschäftigung weg und die Abstossung wird bedeutend verstärkt.

Die erwähnte, durch den Einfluss eines elektrischen Körpers durch blosse Fernwirkung bewirkte Entwickelung entgegengesetzter Elektricitäten an einem ursprünglich unelektrischen Leiter nennt man Elektrisirung durch Vertheilung, und den Raum, innerhalb dessen ein elektrischer Körper auf einen unelektrischen wirkt, den Wirkungskreis oder die elektrische Atmosphäre des letzteren. Von der Dichte der Elektricität, die sich an einer Stelle der Oberfläche des elektrisirten Körpers aufgehäuft befindet, hängt das Bestreben zur Ausgleichung des Zwangzustandes, in welchem sich die Elektricität in Bezug auf ihr Umgebung befindet, oder die sogenannte elektrische Spannung ab.

Elektricität theilt sich nur mit, wenn sie entgegengesetzte Elektricitäten vorfindet oder vorher durch Vertheilung erregt hat, so dass jede Mittheilung als Vereinigung beider Elektricitäten angesehen werden kann. Diese Bewegung der Elektricität, welche eine Ausgleichung erzielt, nennt man das Strömen der Elektricität. Geschieht diese Ausgleichung durch einen schlechten Leiter, wie z. B. durch Luft, so zeigt sich ein elektrischer Funke oder Blitz.

Theoretische Ansichten über elektrische Erscheinungen. Es giebt zwei hauptsächliche Ansichten, die erste derselben ist die Unitätshypothese, die andere die dualistische Hypothese. Nach der Unitätshypothese, die von Franklin aufgestellt worden ist, giebt es nur eine elektrische Flüssigkeit, welche in allen Körpern gleichmässig verbreitet ist, so lange dieselben keine elektrischen Erscheinungen zeigen. Häuft sich diese

Flüssigkeit an einer Stelle eines Körpers an, so entsteht nach Franklin an dieser Stelle derjenige elektrische Zustand, den das Glas nach dem Reiben mit einem Tuche zeigt; im entgegengesetzten Falle entsteht an der Stelle, an welcher die elektrische Flüssigkeit verdünnt wird, der entgegengesetzt elektrische Zustand des Siegellacks. Nach dieser Ansicht bedingt ein gewisser Gehalt dieser nicht elektrischen Flüssigkeit den unelektrischen Zustand. Ein Körper, der mehr von dieser Flüssigkeit enthält, ist positiv, einer, der daran Mangel hat, negativ elektrisch.

Nach der andern, der dualistischen Hypothese, welche von R. Symmer näher begründet worden ist und den meisten Eingang bei den Physikern gefunden hat, giebt es in der Körperwelt allenthalben zwei ausserordentlich feine unwägbare Stoffe, die sogenannte positive und die negative elektrische Materie, welche sich überall durch gegenseitige Anziehung mit einander zu verbinden und zu neutralisiren suchen. Wenn sich nun beide Elektricitäten in einem Körper gesättigt haben, so ist er unelektrisch. Durch die bekannten Erregungsmittel der Elektricität wird das neutrale Produkt ($= \pm$ E.) zersetzt und dadurch die positive oder negative elektrische Spannung hervorgerufen. Wird in irgend einem Körper das elektrische Gleichgewicht aufgehoben und z. B. + E frei, so sucht diese freigewordene Elektricität in einem benachbarten Körper den unelektrischen Zustand gleichfalls aufzuheben und die einzelnen elektrischen Materien auseinander zu bringen, indem sie die negative Elektricität dieses Körpers anzieht, die positive aber zurücklässt. Auf diese Weise erklärt sich, warum der andere Körper durch Vertheilung elektrisch wird.

Die elektrischen Flüssigkeiten unterscheiden sich wesentlich von den magnetischen, obgleich beide Elektricitäten, sowie beide Magnetismen sich unter Umständen wie entgegengesetzte Grössen gänzlich aufheben. Ein elektrischer Körper kann aber einem andern den elektrischen Zustand durch Berührung mittheilen, wobei indess der erstere einen Verlust an Elektricität erleidet, der bis zur völligen Erschöpfung gehen kann. Der Magnet theilt zwar seinen Zustand auch dem Eisen mit, er verliert aber dabei nichts, sondern kann im Gegentheile dadurch noch stärker werden. Der elektrische Zustand kann ausserdem in allen Körpern deutlich hervortreten, der magnetische hingegen nicht.

Die Elektroskope. Aus dem Vorhergehenden folgt, dass Elektroskope (Elektrometer) Instrumente sind, vermittelst welcher sich erkennen lässt, ob ein Körper elekrisch ist, und welche Elektricität er besitzt. Das einfachste Elektroskop ist das schon erwähnte Kugelelektroskop, das durch ein an einem Faden aufgehängtes Hollundermark- oder Korkkügelchen gebildet wird; dieses

Fig. 167.



Instrument ist aber nur dann anwendbar, wenn die vorhandene Elektricität stark genug ist, die Masse des Kügelchens merklich zu bewegen. Weit empfindlicher ist das Goldblattelektroskop von Bennet (Fig. 167), das aus zwei gleichlangen Blattgoldstreifen 1 und 2 besteht, die an dem unteren Ende eines glatten Messingdrahtes so aufgehängt sind, dass sie im unelektrischen Zustande ihrer ganzen Länge nach sich decken. Der Draht geht durch den oberen Theil eines gläsernen Gefässes *B*, das die Goldblättchen gegen den Luftzug schützt, und endigt oben in eine gläserne Kugel oder in eine an den Rändern abgerundete Platte (die Collectorplatte), welcher man den zu prüfenden Körper nähert. Ist der Körper elektrisch, so beginnen die Goldblättchen sogleich zu divergiren. Entfernt man den Körper, so hört die Divergenz auf.

In diesem Falle geht eine Vertheilung der natürlichen Elektricität der Collectorplatte und der übrigen leitenden Theile des Apparates vor sich; die mit der Elektricität des Körpers gleichnamige wird vorgezogen, die ungleichnamige zurückgedrängt; durch die letztere werden die Blättchen auseinander getrieben. Nach der Entfernung des elektrischen Körpers werden die beiden Elektricitäten wieder vereinigt und die Goldblättchen kehren in ihren natürlichen Zustand zurück. Wenn die Goldblättchen mit einer gewissen Elektricität, z. B. mit positiver, divergiren und man nähert der Collectorplatte eine mit Tuch geriebene Glasstange, so werden die Blättchen noch mehr divergiren, weil zu der bereits vorhandenen Elektricität noch gleichnamige hinzugekommen ist. Nähert man aber umgekehrt dem Elektroskop eine mit Tuch geriebene Siegellackstange, so fallen die Blättchen anfänglich zusammen, divergiren aber dann von neuem; wenn durch weitere Annäherung der Siegellackstange die negative Elektricität noch mehr verstärkt werden ist. Nach der Entfernung der Siegellackstange fallen die Goldblättchen wieder zusammen.

Zur Erhöhung der Empfindlichkeit des Elektroskopes vertauschte Parrot das eine Goldplättchen mit einem vergoldeten unbeweglichen Messingstreifen und brachte einen ähnlichen verticalen Metallstreifen auf der andern Seite des Goldblättchens an, welcher auf einem horizontalen, in den Boden eingelassenen und verschiebbaren Metallstreifen befestigt war. Mittelst des letzteren konnte er dem Goldblättchen beliebig genähert und dadurch seine anziehende, die Divergenz vermehrende Wirkung beliebig gesteigert werden. Das Volta'sche Elektroskop enthält statt der Goldblättchen Strohhalme, welche von leicht beweglichen Ringen aus sehr feinem Metalldraht getragen werden.

Bei der Auffindung sehr geringer Mengen von Elektricitäten ist das Elektroskop von Bohnenberger (Fig. 168) anwendbar. Dasselbe hat nur ein Goldblättchen *c*, dessen unteres Ende in der

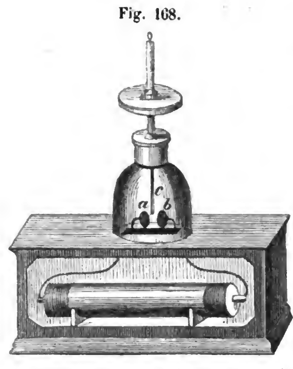


Fig. 168.

Mitte zwischen den Polen *a b* einer kleinen Zamboni'schen Säule (die später beschrieben werden soll) sich befindet, die in eine Glasröhre eingeschlossen ist, und von welcher Polardrähte erst aufwärts und dann einander zugebogen sind. Wird nun das Blättchen durch Vertheilung elektrisch, so wird es von ungleichnamigen Polen angezogen und giebt dadurch zugleich die Art der Elektricität zu erkennen. Die Säule selbst befindet sich in einem hölzernen Kasten, durch dessen Deckel die Polardrähte hindurch in das Glasgefäss reichen, welches den Goldstreifen enthält.

Die Gesetze der elektrischen Anziehung und Abstossung sind von Coulomb vermittelst der Drehwage bestimmt worden. Die Drehwage (Fig. 169) besteht aus einem Hebel *ab*, von Schellack geformt, an dessen einem Ende sich ein Kügelchen von Hollundermark oder ein Scheibchen von Blattgold befindet. Der Hebel ist in seiner Mitte an einem vertical herabhängenden Faden von Silber oder Messing aufgehängt und zur Abhaltung des Luftzuges in einem gläsernen Behälter eingeschlossen. Dieser Behälter besteht gewöhnlich aus einem weiten und einem darauf gesetzten engen Cylinder, wie es in der Figur angedeutet ist. Der ungefähr in der Mitte des unteren Cylinders befindliche Kreis dient zur Messung der Ablenkung des Hebels, und an dem Knopfe *c* befindet sich ein Index, der an einem oben angebrachten Kreise *f* die Grösse der Drehung in Graden angiebt. In dem Deckel des unteren Cylinders befindet sich noch eine Oeffnung *e*, durch welche ein aus Schellack geformtes Stäbchen *eh* eingeführt wird; an dem unteren Ende desselben befindet sich ein Hollundermarkkügelchen oder eine Scheibe aus Blattgold.

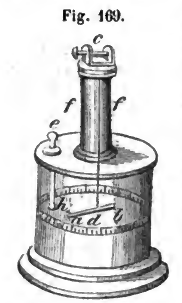


Fig. 169.

Um vermittelst dieser Drehwage die Elektricität eines Körpers

an verschiedenen Punkten seiner Oberfläche zu messen, berührt man den Körper an den zu untersuchenden Punkten mit dem Kügelchen h, dass sich an einem aus Schellack geformten Stäbchen befindet und bringt dann dasselbe in dem unteren Cylinder in seine vorige Lage zurück.

Durch die Berührung mit h wird b elektrisch und beide Kugeln stossen sich ab. Da sich nun h von b entfernt, so muss sich der Metalldraht $d\,c$ um so viel Grade drehen, als sich die Kugel b fortbewegt. Wenn man nun darauf andere Punkte des Körpers, dessen Oberfläche geprüft werden soll, untersucht, so wird die Kugel b um so weiter fortgestossen, je bedeutender die Elektricität war.

Durch die Drehwage kann man auch das Gesetz erfahren, nach welchem die Grösse der elektrischen Anziehung zu- und abnimmt. Angenommen, die beiden Kugeln seien durch die ihnen mitgetheilte Elektricität bis auf 30° nach rechts hin auseinandergefahren, so ist die Torsion des Metalldrahtes = 30°. Dreht man nun das obere Ende des Drahtes so lange nach links herum, dass b nur noch 15° von der Kugel h absteht, so wird man bemerken, dass der Draht um 105° gedreht worden ist. Die ganze Torsion des Drahtes betrug demnach $15^0 + 105^0 = 120^0$. Die abstossenden Kräfte beider Kugeln verhalten sich also in den Entfernungen von 30° und 15° wie $30 : 120 = 1 : 4$. Daraus geht hervor, dass sich ***die Abstossungen zweier elektrischer Körper umgekehrt verhalten, wie die Quadrate ihrer Entfernung von einander.*** Dasselbe gilt auch von den Anziehungen.

Es ist bei allen genauen Messungen zu beobachten, dass ein Theil der Elektricität durch die in der Luft enthaltene Feuchtigkeit verloren geht. Bei einem Versuche, der von Coulomb behufs der Feststellung der Grösse dieses Verlustes angestellt wurde, entsprach die abstossende Kraft beider Kügelchen einer Torsion des Drahtes von 270°. Schon nach einer Minute aber musste diese Windung um 6° vermindert werden, um den anfänglichen Abstossungswinkel, der 20° betrug, wieder zu erreichen. Die Abstossung der Kügelchen entsprach jetzt einer Windung von 264°; der während einer Minute entstandene Verlust mithin = 6°; demnach war die mittlere Elektricitätsmenge in dieser Minute $= 270^0 \left(\frac{270 + 264}{2} = 267\right)$. Hiernach beträgt der Verlust, der einer Torsion von 6° entspricht, $\frac{6}{267} = \frac{1}{44{,}5}$. An trocknen Tagen ist der Verlust, nach Coulomb, $= \frac{1}{60} - \frac{1}{70}$ der mittleren Spannung, an feuchten aber häufig $\frac{1}{20}$ derselben.

Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität. Es war schon längst bekannt, dass sich die Elektricität mit ungeheurer Schnelligkeit fortpflanzt und dass sie meilenlange Drähte in einem Momente durchläuft. Weatstone machte Versuche, um die Geschwindigkeit der Elektricität (d. i. den Weg, den sie in einer Secunde zurücklegt) zu messen. Er leitete zu diesem Zwecke die Elektricität einer geladenen Leydner Flasche durch einen sehr langen Kupferdraht, der sowohl nächst der beiden Belegungen als in der Mitte unterbrochen war; dabei war die Einrichtung getroffen, dass man wahrnehmen konnte, ob die an den Unterbrechungspunkten erscheinenden Funken zu gleicher Zeit auftraten oder nicht. Aus der Verspätung des in der Mitte des Drahtes erscheinenden Funkens berechnet Wheatstone, dass die Electricität in einer Secunde 288,000 englische Meilen (ungefähr 60,000 deutschen entsprechend) zurücklege.

In der neuesten Zeit haben Fizeau und Gounelle Versuche über die Geschwindigkeit der Elektricität angestellt, deren Resultate von denen Wheatstone's bedeutend abweichen. Diese beiden Physiker benutzten die Telegraphenlinie von Paris nach Rouen und von Paris nach Amiens; Beide Drähte konnten zu Rouen und Amiens vereinigt werden und boten so einen Conductor von grosser Länge. Die eine Linie bestand aus Eisendraht, die andere zu einem Drittel aus Eisendraht und zu zwei Dritteln aus Kupferdraht, was insofern günstig war, als man die Leitungsgeschwindigkeit in verschiedenen Leitern beobachten konnte. Aus diesen Versuchen ergab sich 1) dass die Elektricität in Eisendraht von 4 Millimeter Durchmesser sich mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 100,000 Kilometer (ungefähr 12,000 deutsche Meilen) in einer Secunde fortpflanze; 2) in Kupferdraht, von 2,5 Millimeter Durchmesser, beträgt die Geschwindigkeit 180,000 Kilometer (ungefähr 16,000 deutsche Meilen); 3) beide Elektricitäten pflanzen sich mit gleicher Geschwindigkeit fort; 4) die Zahl und die Natur der Elemente, welche den Strom erzeugen (also die Tension der Elektricität und die Intensität des Stromes) sind ohne Einfluss auf diese Geschwindigkeit: 5) in Leitern verschiedener Natur sind die Geschwindigkeiten nicht deren elektrischen Leitungsvermögen proportional; 6) die Fortpflanzungsgeschwindigkeit scheint nicht mit dem Querschnitte zu variiren; 7) die Geschwindigkeit ändert sich nur mit der verschiedenen Natur der Leiter und die angeführten Zahlen drücken dann absolut die Leitungsgeschwindigkeit vom Eisen und Kupfer aus.

Der Elektrophor ist ein von Wilke erfundener und von Volta wesentlich verbesserter Apparat. Derselbe besteht 1) aus einem dünnen Harzkuchen mit möglichst ebener Oberfläche, der sich in einem Teller von Blech oder von mit Zinnfolie belegtem Holze befindet, und 2) aus einem Deckel aus einer etwas kleineren Scheibe aus Metall oder sonst einer mit Zinkfolie bedeckten Substanz. Dieser Deckel lässt sich durch einen isolirenden gläsernen Hand-

griff oder an seidenen Schnüren auf den Kuchen aufsetzen und abheben. Wenn man das Harz durch Schlagen mit einem Fuchsschwanz oder einem Katzenfell negativ elektrisch macht und den mit einer isolirenden Handhabe versehenen Deckel aufsetzt, so wirkt die negative Elektricität des Harzkuchens auf die verbundenen Elektricitäten des Deckels, die positive Elektricität wird angezogen, die negative aber abgestossen; es häuft sich deshalb die positive Elektricität im unteren, die negative aber im oberen Theile des Deckels an. Nähert man dem Deckel einen Finger, so springt ein Funke über, und wenn man den Deckel mit dem Finger berührt, so wird alle negative Elektricität entfernt und der Deckel ladet sich nur mit positiver Elektricität, die aber, so lange der Deckel auf dem Kuchen liegen bleibt, durch die negative Elektricität des letzteren gebunden ist. Hebt man nun den Deckel von dem Harzkuchen ab, so wird die positive Elektricität frei und es lässt sich aus dem Deckel ein Funken positiver Elektricität ziehen. Bei der Benutzung der Elektrophorelektricität zur Ladung einer Flasche (die wir sogleich kennen lernen werden), nähert man den Deckel, nachdem man ihn vor dem Aufheben berührt hat, dem Knopf, um ihm einen Theil seiner freigewordenen positiven Elektricität zu geben, setzt ihn dann wieder auf den Kuchen, wo die positive Elektricität durch neue Bindung ersetzt wird, nimmt ihm durch Berührung wieder seine freie negative Elektricität, theilt seine gebundene und nach dem Aufheben wieder freiwerdende positive Elektricität wieder dem Flaschenknopfe mit und wiederholt dies so lange, bis die freie positive Elektricität der Flasche gleiche Spannung hat mit der nach dem Aufheben freiwerdenden Elektricität des Deckels, weil dann keine fernere Berührung mehr stattfindet. Ist die Oberfläche des Kuchens hinreichend eben, so verliert der Kuchen nichts von seiner Elektricität, indem derselbe nur durch Fortpflanzung seiner Spannung wirkt, welche die auf seiner Oberfläche angehäufte Elektricität gegen die Umgebung ausübt.

Als Substanz für den Harzkuchen hat man verschiedene Compositionen empfohlen. Volta giebt an: 3 Th. Terpentin, 2 Th. Harz, 1 Th. Wachs; Pfaff: 8 Th. Colophonium, 1 Th. Schellak, 1 Th. venetianischen Terpentin. Das erwähnte Festhalten der Elektricität auf der Harzschicht ist der Grund, warum der Versuch mit dem Deckel ohne Aenderung des Erfolges wiederholt werden kann und der ganze Apparat längere Zeit hindurch eine bleibende Quelle von Elektricität darstellt, daher sein Name Elektrophor, d. h. Elektricitätsträger. — Der Harzkuchen des Elektrophors lässt sich mit Nutzen ersetzen durch eine mehrere Linien dicke Glasplatte von ebener Oberfläche, die auf der oberen Seite mit einer dünnen Lage von Collodium (einer Lösung von Schiessbaumwolle in

Aether) überzogen ist. Am geeignetsten als Masse zu Elektrophoren möchte wol aber die Gutta Percha erscheinen, da dieselbe sich in der Wärme leicht formen lässt, ohne in der Kälte die Brüchigkeit der gewöhnlichen Harzcompositionen zu besitzen.

Elektrisirmaschine. Eine Vorrichtung, welche auf der Erregung der Elektricität durch Reiben und auf der Mittheilung derselben an einen isolirten Leiter beruht, heisst eine Elektrisirmaschine. Sie besteht aus zwei aneinander reibenden Nichtleitern und einem daneben befindlichen isolirten Leiter, dem Conductor. Der reibende Körper ist gewöhnlich ein mit Pferdehaaren ausgestopftes Kissen, die reibende Fläche ist ein Leder, welches mit einem Gemenge von Amalgam (aus 1 Th. Zinn, 1 Th. Blei und 2 Th. Quecksilber) und Fett überstrichen ist. Der geriebene Körper ist ein Glascylinder oder eine Glasscheibe. Der Conductor ist in der Regel ein auf Glas ruhender und dadurch isolirter hohler Körper aus Messingblech, mit überall abgerundeter und polirter Oberfläche; er hat gewöhnlich Kugel- oder Cylinderform und einen oder zwei Arme, die bis in die Nähe der geriebenen Glasfläche reichen und an ihren Enden (den sogen. Saugern) meistens mit Spitzen versehen sind, welche sich der Glasfläche zukehren.

Die Entwickelung der Elektricität durch die Elektrisirmaschine geht auf folgende Weise vor sich. Durch die Reibung wird der geriebene Glaskörper mit positiver Elektricität geladen; dadurch, dass derselbe in der Nähe des Conductors bewegt wird, erfährt die Elektricität des Conductors eine Zerlegung in + und — Elektricität; die letztere verbindet sich mit der + Elektricität der vorüber bewegten Theile des Glaskörpers, während die positive Elektricität des Conductors frei wird. Der Conductor erscheint deshalb mit positiver Elektricität geladen. Da diese Elektricität gleich ist der durch Reibung des Glaskörpers erzeugten und nachher durch die negative Elektricität des Conductors neutralisirten positiven Elektricität, so muss die Ladung des Conductors in dem Masse zunehmen, als der Glaskörper längere Zeit gedreht wird. Damit das vom Reibzeuge geriebene Glas auf dem Wege bis zum Conductor nichts von seiner Elektricität verliere, ist von jedem Reibzeuge aus bis in die Nähe des Conductors die obere Hälfte des Glascylinders mit einem Stück Wachstaffet besetzt, wodurch die Berührung zwischen der mit Elektricität geladenen Glasflasche und der Luft verhindert wird. Durch das Reiben des Glaskörpers wird die in demselben natürliche Elektricität zerlegt, damit nun die ebenfalls freigewordene Elektricität durch ihre Anziehung zur positiven

des Glases nicht nachtheilig sei, muss die negative Elektricität abgeleitet werden. Dies geschieht, indem man eine leitende Verbindung mit der Erde herstellt. Will man die negative Elektricität des Glaskörpers ansammeln, so bringt man an der Maschine einen zweiten Conductor an, der mit dem Reibzeuge leitend verbunden, ausserdem aber isolirt ist; wird nun der erste Conductor leitend mit der Erde vereinigt, so erscheint am zweiten Conductor die negative Elektricität.

Bei der besten Isolation eines Leiters findet doch allmählich eine Entweichung von Elektricität statt; dies geschieht besonders in feuchter Luft. Die Elektricität lässt sich deshalb in dem Conductor selbst durch lange Zeit fortgesetztes Drehen nur bis zu einer gewissen Grenze anhäufen, und diese Grenze ist erreicht, sobald die Menge der Elektricität, welche dem Conductor entströmt, genau so gross ist wie diejenige Menge, welche in derselben Zeit dem Conductor zugeführt wird; durch längere Zeit fortgesetztes Drehen lässt sich nur derselbe Zustand der Ladung des Conductors erhalten, der sich allmählich verliert, sobald man zu drehen aufgehört hat.

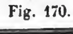
Es ist rathsam, vor dem jedesmaligen Gebrauche einer Elektrisirmaschine vermittelst eines erwärmten wollenen Tuches von dem Glasgefässe, sowie von den isolirenden Glasfüssen Feuchtigkeit und Staub zu entfernen, da durch die Leitungsfähigkeit der feuchten Luft eine kräftige Wirkung der Maschine verhindert wird. Es ist daher vortheilhaft, während der Thätigkeit einer Elektrisirmaschine die Luft des Zimmers, in welchem sich dieselbe befindet, durch Kohlenfeuer warm zu erhalten.

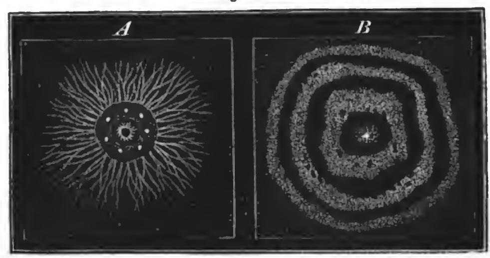
In Bezug auf den geriebenen Körper zerfallen die Elektrisirmaschinen in vier Unterabtheilungen, nämlich in Kugelmaschinen, Cylindermaschinen, Scheibenmaschinen und Glockenmaschinen. Die Kugelmaschinen, bei welchen der geriebene Körper eine Glaskugel ist, werden jetzt nicht mehr angewendet. Die Scheibenmaschinen sind besonders auf dem Continent gebräuchlich; die grössten befinden sich in Harlem und im k. k. polytechnischen Institute in Wien. Die Cylindermaschinen nehmen weniger Raum ein, als die Scheibenmaschinen bei gleicher reibender Oberfläche, können aber nur von einer Seite benutzt werden und stehen den Scheibenmaschinen stets nach, weil Glascylinder nie eine so vollkommen cylindrische Oberfläche haben, daher bei ihrer Drehung das Reibezeug sich nicht überall so gleich innig anschmiegen kann, wie dies bei den überall aus gleich dickem Spiegelglase bestehenden Scheiben der Fall ist. Die Glockenmaschinen (von Wolfram erfunden) vereinigen die beiden vorhergehenden Formen, indem eine senkrecht stehende Glasglocke zu beiden Seiten inwendig und auswendig gerieben wird.

Als den Erfinder der Elektrisirmaschine nennt man gewöhnlich Otto von Guerike, weil er eine Schwefelkugel mittelst einer Kurbel an der trockenen Hand rieb, wofür Hawksbee eine Glaskugel einführte. Das Reibzeug und der Conductor wurde der Maschine erst von Winkler zugefügt. Die Cylindermaschine wurde von Nairne, Adams, Nooth und Nicholson verbessert. Als Erfinder der Scheibenmaschine werden Planta (1760), De la Fond (1756), Ramsden und Ingenhouss genannt.

Die Grösse der am Conductor erzielbaren Spannung und Quantität der Elektricität, d. h. die Wirkung einer Elektrisirmaschine, ist abhängig von der mehr oder weniger vollständigen Isolation und von der Grösse des Conductors, ausserdem von den Dimensionen und der mehr oder weniger ebenen Fläche des geriebenen Glaskörpers, von der Beschaffenheit des Amalgams u. s. w. Die Kraft einer Elektrisirmaschine beurtheilt man nach der grössten Distanz, in welcher noch Funken aus dem Conductor auf einen mit dem Reibzeuge in Verbindung stehenden Elektricitätsleiter übergehen können. Diese Distanz nennt man die Schlagweite; sie ist in dünnerer Luft grösser als in dichter, am grössten aber im luftleeren Raume. Man beobachtet dabei das Phänomen eines elektrischen Funkens. Hat der Conductor der Elektrisirmaschine bedeutende Oberfläche, so werden die Funken stärker und springen unter Umständen schon in einer Entfernung von 12 Zoll über. Ein langer Funke bildet eine mit Ausbiegungen versehene gebrochene Linie; sein Licht ist blendend hell und das ihn begleitende Geräusch sehr stark. Wenn man an dem Conductor eine Metallspitze anbringt, so verringert sich seine elektrische Spannung und man bemerkt im Dunkeln einen Lichtbüschel ausströmender positiver Elektricität; am Reibzeuge zeigt eine Spitze in weit kürzerem Lichtbüschel einen leuchtenden Stern, eine Strahlenkrone, wodurch sich die negative Elektricität wesentlich von der positiven unterscheidet. Dasselbe negativ elektrische Licht ist zu bemerken, wenn man dem Conductor einen spitzigen Gegenstand nähert. Einen andern bemerkenswerthen Unterschied der beiden elektrischen Zustände zeigen uns die sogenannten Lichtenberg'schen Figuren. Ertheilt man nämlich einem Harzkuchen Elektricität und stäubt nachher ein feines Pulver (Lycopodium, Colophonium, Schwefel, oder Mennige) auf, so ordnen sich dessen Theilchen zu den nach Lichtenberg benannten Figuren. Sie entstehen durch die abstossende Kraft, welche die elektrischen Stellen auf die Staubtheilchen ausüben. Aus der Form der Figuren lässt sich die Art der Elektricität und die Art und Weise erkennen, auf welche sich die Elektricität dem Kuchen mitgetheilt hat. Negative Elektricität

theilt sich dem Harze nur schwer, nur punktweise mit; positive dagegen in mehr zusammenhängenden, strahlenförmig sich ausbreitenden Richtungen, daher bei positiver Elektrisirung die Staubtheilchen vielfach verästelte Züge bilden (Fig. 170 *A*), welche wall-


Fig. 170.



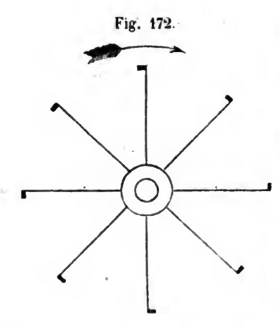
artig die zweigartig sich ausbreitenden elektrisirten Stellen umgeben; bei negativer Elektricität (Fig. 171 *B*) dagegen bilden die Staubtheilchen kleine sternförmige Häufchen.

Die Farbe des elektrischen Lichtes ist je nach der Farbe und dem Gase, durch welche es geht, verschieden; in gewöhnlicher atmosphärischer Luft ist es weiss und glänzend, in verdünnter schön blassroth, in Kohlensäure weiss, in Wasserstoffgas roth, in Wasserdampf gelb, in Alkohol und Aetherdampf gelbgrün. Die Elektricität findet in verdünnter Luft nur einen sehr schwachen Widerstand, weshalb sie sich in einer langen, luftleer gemachten Glasröhre ausbreiten kann und den Weg, den sie zurücklegt, mit Feuerstreifen bezeichnet. Aber nicht nur den luftverdünnten, sondern auch den absolut luftleeren Raum durchströmt die Elektricität mit Lichterscheinung. Man kann dieselbe in der Toricelli'schen Leere des von Cavendish construirten Doppelbarometers beobachten (Fig. 171).

Fig. 171.



Durch das Ausströmen der Elektricität kann Bewegung hervorgebracht werden. Auf diese Eigenschaft gründet sich das elektrische Flugrad (Fig. 172). Dasselbe besteht aus mehreren von einer gemeinsamen Axe ausgehenden Metallstäben,


Fig. 172.

deren zu Spitzen ausgezogene Enden alle nach der nämlichen Seite hin umgebogen sind. Die Axe steht mit dem Conductor in Verbindung. Sobald man den Conductor ladet, bewirkt die aus den Spitzen ausströmende Elektricität ein Umdrehen des Rades. Im Dunkeln nimmt man an den Spitzen Lichtbüschel wahr. Die Bewegung des Rades lässt sich auf folgende Weise erklären. Das in dem Rade verbreitete elektrische Fluidum übt überall auf die umgebende Luft einen Druck aus; da dasselbe nun an den Spitzen einen Ausgangspunkt findet, so übt es keinen Druck auf die Stelle des Ausströmens aus; der auf die diesem Punkte entgegengesetzte Stelle ausgeübte Druck bewirkt daher hier, wie bei dem Segner-schen Rade, eine Umdrehung des Apparates in einer dem Ausströmen entgegengesetzten Richtung.

Durch den elektrischen Funken lassen sich Wärmewirkungen hervorbringen.

Man kann durch denselben Alkohol, Aether, Colophoniumpulver, Knallgas (ein Gemenge von Sauerstoffgas mit Wasserstoffgas) und eine eben verlöschte Kerze wieder anzünden. Auf der Entzündung des Knallgases durch den elektrischen Funken beruht die elektrische Pistole, welche aus einem kleinen, mit einem Korke verschliessbaren Metallgefässe besteht, in welches nahe am Boden ein in zwei kleine Kugeln sich endigender, isolirter Draht hineingeht. Füllt man das Gefäss mit Knallgas, verschliesst dasselbe mit dem Kork und lässt dann durch die Kugel einen elektrischen Funken schlagen, so entzündet sich das Knallgas und der Kork wird mit heftigem Knalle aus der Mündung des Gefässes herausgeschleudert.

Die durch den elektrischen Funken hervorgebrachten physiologischen Wirkungen werden später bei der Berührungselektricität betrachtet werden. Von den mechanischen Wirkungen sei nur das öfters vorkommende Durchbrechen des Funkens durch die Luft und durch andere schlechte Leiter erwähnt. Da hierbei Theilchen der Körper auf die Seite geschoben werden, so findet häufig bei Glas, Holz, Papier eine Durchlöcherung, Zerspaltung, Zersplitterung u. s. w. statt.

Chemische Wirkungen der Elektricität. Eine der wichtigsten Eigenschaften der Elektricität ist die, chemische Ver-

bindungen in ihre Bestandtheile zersetzen und aus Bestandtheilen zusammengesetzte Körper bilden zu können. Die Zersetzung von Verbindungen durch Elektricität wird später ausführlich betrachtet werden. Die Eigenschaft des elektrischen Funkens, die Verbindung von Körpern zu vermitteln, finden in der Chemie bei der Gasanalyse die ausgedehnteste Anwendung und bei weitem der grösste Theil der eudiometrischen Versuche ist auf diese Eigenschaft basirt.

Fig. 173.

Will man z. B. vermittelst des elektrischen Funkens das Volumen des Sauerstoffs oder Wasserstoffs bestimmen, welche mit einem anderen, gegen dieselben indifferenten Gase gemengt ist, so nimmt man eine Röhre, welche in gleiche Raumtheile getheilt ist, an deren oberen geschlossenen Ende zwei Drähte angebracht sind (siehe Fig. 173), welche inwendig etwas von einander abstehen, bringt das Gasgemenge in diese Röhre und setzt die letztere in Quecksilber. Nun braucht man nur die Verminderung des Volumens zu ermitteln, welche stattfindet, wenn man dem zu untersuchenden Gasgemenge etwas mehr von einem oder dem anderen Gase zusetzt, als zur Wasserbildung nothwendig ist, und dann den elektrischen Funken durch das Gasgemenge schlagen lässt. Da man weiss, das Wasserstoffgas und Sauerstoffgas genau in dem Verhältnisse der Volumen von 2 : 1 zu Wasser zusammentreten, so lässt sich leicht aus der Volumenverminderung nach der Entzündung die Menge des Sauerstoffs und des Wasserstoffs berechnen.

Die Hydroelektrisirmaschine. Die Erfahrung lehrt, dass bei allen Formveränderungen der Körper elektrische Processe stattfinden. Pouillet fand, dass beim Verdunsten von Wasser, in welchem sich Salze und andere Stoffe aufgelöst befinden, stets Elektricität entwickelt wird. Die Elektricitätsäusserung an dem Kessel einer Dampfmaschine wurde zufällig von einem Maschinenwärter bemerkt, der, als er die eine Hand in den Dampf hielt, und mit der andern Hand den Hebel des Sicherheitsventils ergriff, vom Hebel einen Funken auf die Hand überspringen sah und zugleich im Arme eine heftige Erschütterung empfand. Armstrong stellte nun Beobachtungen an, aus welchen resultirte, dass der Dampf, welcher aus dem Sicherheitsventil eines Dampfkessels hervorströmt, positiv, der Kessel dagegen negativ elektrisch ist. Faraday bewies, dass die Quelle der Elektricität nicht, wie man anfänglich meinte, die Bildung oder Verdichtung des Dampfes, sondern die Reibung allein sei, welche die vom Dampfe mechanisch fortgerissenen Wassertheilchen an den Rändern der Ausflussöffnung erleiden. Es gelang Armstrong, einer auf einer isolirenden Unterlage gestellten Locomotive electrische Funken zu entlocken. Derselbe Physiker construirte die nach ihm benannte

Hydroelektrisirmaschine, welche wesentlich aus einem durch Glasfüsse isolirten Dampfkessel besteht. Auf dem Kessel ist ein Hut befindlich, auf welchem ein kurzes, durch einen Hahn verschliessbares Messingrohr angebracht ist, auf dem sich ein System von Dampfausströmungsröhren festgeschraubt befindet. Diese Röhren gehen durch einen mit kaltem Wasser gefüllten Blechkasten, damit der Dampf zum Theil verdichtet werde, was die Erregung der Elektricität bedeutend verstärkt. Der ausströmende Dampf und der Kessel sind stets entgegengesetzt elektrisch. Um die positive Elektricität des Dampfes abzuleiten, bringt man in den Dampfstrom vor den Ausflussöffnungen Spitzen an, welche die Elektricität in einen Conductor führen, der mit dem Erdboden in leitender Verbindung steht. Der Kessel erscheint dann kräftig elektrisch und giebt bei einer Spannung von sechs Atmosphären 10—14 Zoll lange elektrische Funken. Wenn man in die Ausströmungsröhren etwas Terpentinöl bringt, so wird der Dampf au einige Zeit negativ, der Kessel positiv elektrisch.

Die Versuche Faraday's, dass nur hierbei die Reibung der Wassertheilchen nicht aber die Bildung des Dampfes Ursache der Elektricität sei, wurden von Reich wiederholt; er zieht aus seinen Untersuchungen den Schluss, dass eine Elektricitätserzeugung durch Dampfbildung aus reinem Wasser oder Lösungen nicht nachweisbar sei. Riess ist derselben Ansicht; als sehr bezeichnenden Versuch schlägt er vor, dass man einen Platinlöffel, der mit einem sehr empfindlichen Elektroskop in Verbindung steht, glühend machen, in demselben einige Tropfen Salzlösung bringen und ihn dann der freiwilligen Verdunstung überlassen soll. In dem Moment, in welchem die im sphäroïdalen Zustande (vergl. S. 144) befindliche Flüssigkeit auseinander geschleudert wird, zeigt sich nur dann Elektricität, wenn man den Löffel mit einer Art von Esse umgiebt, an welcher sich die mechanisch mit fortgerissenen Flüssigkeitstheilchen reiben können. Nichtsdestoweniger nehmen einige Physiker an, dass die Verdunstung die Hauptquelle der atmosphärischen Elektricität sei und dass der Atmosphäre auch einige Elektricität durch die Pflanzen zur Zeit ihrer Vegetation zugeführt werde. Riess konnte indessen bei dem Vegetationsprocesse der Pflanzen keine sicheren Kennzeichen dabei entwickelter Elektricität erhalten.

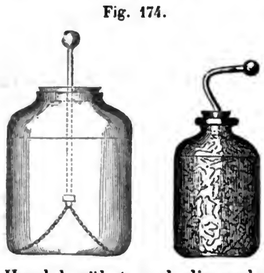
Der Isolirschemmel, ein Hülfsapparat beim Gebrauch der Elektrisirmaschine ist ein starkes Brett mit Glasfüssen, worauf sich ein Mensch stellen kann. Berührt derselbe den Conductor, so wird er ein Theil desselben und kann alle Erscheinungen zeigen, die sich mit dem Conductor hervorbringen lassen.

Die Unvollkommenheiten der gebräuchlichsten Isolatoren können in vielen Fällen umgangen werden, wenn man anstatt derselben das hohe, von Faraday nachgewiesene Isolationsvermögen der Gutta Percha in Betracht zieht.

Elektrische Batterie. Wenn man ein Glasgefäss von der

Form einer kurzhalsigen Flasche oder eines cylindrischen Trinkglases innen und aussen, bis zu einen gewissen Abstande vom oberen Rande, mit Zinnfolie (Stanniol) belegt, den oberen Rand mit einer Lackschicht überzieht und mitten durch die Mündung des Glases einen Metalldraht gehen lässt, der sich in einer Kugel endigt, so hat man eine sogenannte elektrische Flasche, auch Leidner, Kleist'sche oder Verstärkungsflasche genannt. Ist der Flaschenhals eng, so ersetzt man die innere Belegung durch metallische Feilspäne, welche die Flasche bis zu der erforderlichen Höhe füllen, oder durch Umherschwenken mit Gummiwasser zum Anhaften an die inneren Wände gebracht werden. Die beistehende Zeichnung (Fig. 174) zeigt uns zwei der gebräuchlichsten Formen der elektrischen Flasche. Setzt man die eine Belegung mit dem Fussboden in Verbindung, so ist die andere Belegung im Stande, eine grosse Menge von Elektricität aufzunehmen, und wenn man darauf die eine Belegung mit der Hand berührt und die andere Hand der anderen Belegung nähert, so springt mit einem Knall ein glänzender Funke über und man erhält eine Erschütterung in den Gelenken der Hand und des Armes, die sich bei grösserer Intensität bis in die Brust erstreckt. Das Elektrisiren der Flasche nennt man die Ladung, das Fortnehmen ihrer Elektricität die Ausladung.

Fig. 174.



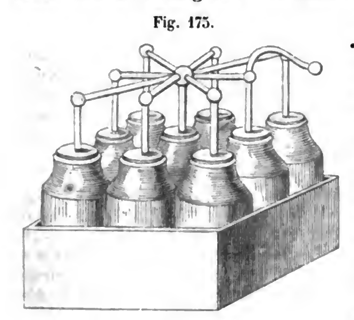
Der Vorgang bei der Ladung und Entladung lässt sich auf folgende Weise deutlich machen: Die Flasche sei auf eine isolirende Grundlage gesetzt worden, die innere Belegung aber sei mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine in leitender Verbindung, so wird ein Theil der positiven Elektricität vom Conductor auf die innere Belegung übergehen; diese Elektricität wirkt nun vertheilend auf die Elektricität der äusseren Belegung, es kann aber, der Isolation der Flasche wegen, die abgestossene Elektricität nicht entweichen. Bringt man dieselbe aber mit dem Boden in leitende Verbindung, so geht die positive Elektricität in den Boden über, während sich die negative auf der äusseren Belegung der Flasche verbreitet. Die negative Elektricität der äusseren Belegung wirkt aber ebenfalls bindend auf die positive Elektricität der innern, wodurch es möglich wird, dass von neuem positive Elektricität vom Conductor auf

die innere Belegung übergeht, welche dann durch Vertheilung die Menge der negativen Elektricität auf der äusseren Belegung vergrössert Damit auf der äusseren Belegung die negative Elektricität vollständig gebunden sei, ist es nothwendig, dass sich auf der inneren Belegung ein Ueberschuss von freier Elektricität befinde. Die Ladung der Flasche hat ihre Grenze erreicht, wenn die Quantität der freien positiven Elektricität der inneren Belegung so viel beträgt, wie die Quantität der positiven Elektricität, die sich unter den nämlichen Bedingungen auf der inneren Belegung verbreiten würde, wenn die äussere Belegung isolirt ist.

Die Elektricitäten haften bei der geladenen elektrischen Flasche nicht an den Metallbelegungen, sondern an den darunter befindlichen Glasflächen, und dringen in Folge gegenseitiger Anziehung bis zu einer gewissen Tiefe in die Masse des Glases ein; ist das Glas zu dünn, um der Anziehung Widerstand zu leisten, so bricht die Elektricität durch das Glas, man findet die Flasche an einer Stelle durchbohrt und sie hat aufgehört geladen zu sein. Ist der unbelegte Rand der Flasche zu schmal, so tritt schon vor dem Maximum der Ladung eine Entladung ein, d. h. in Folge der Stärke der Anziehung zwischen den Elektricitäten springen fortwährend Funken über den Rand, von einer Belegung zur andern.

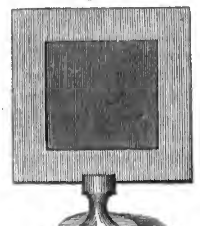
Die Wirkung einer elektrischen Flasche steigert sich mit der Grösse ihrer Belegung; da diese aber in der erreichbaren Grösse der zu belegenden Glasfläche ihre Grenze findet, so kam man kurz nach der Erfindung der elektrischen Flasche auf den Gedanken, die gleichartigen Belegungen einzelner Flaschen vermittelst metallischer Drähte zu einem Ganzen zu vereinigen. Eine solche Vereinigung nennt man elektrische Batterie. Der Zweck derselben ist die Erzeugung eines kräftigen elektrischen Stromes, als ihn die Elektrisirmaschine zu liefern vermag; sie bildet daher ein wichtiges Ergänzungsstück der letzteren. Beifolgende Zeichnung (Fig. 175) zeigt uns eine aus neun Flaschen zusammengesetzte elektrische Batterie.

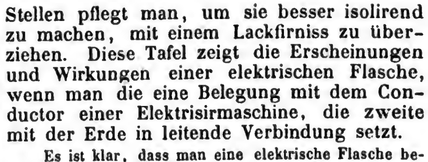
Fig. 175.



Die Franklin'sche Tafel (Fig. 176) besteht aus einer Glastafel, deren beide Flächen bis auf einen ringsherum gehenden, 2—3 Zoll breiten Rand mit Zinkfolie belegt sind. Die unbelegten

Fig. 176.

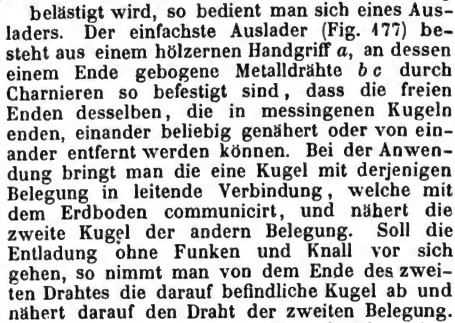




Stellen pflegt man, um sie besser isolirend zu machen, mit einem Lackfirniss zu überziehen. Diese Tafel zeigt die Erscheinungen und Wirkungen einer elektrischen Flasche, wenn man die eine Belegung mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine, die zweite mit der Erde in leitende Verbindung setzt.

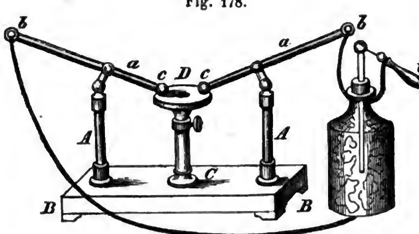
Es ist klar, dass man eine elektrische Flasche betrachten kann als eine zusammengebogene Franklinsche Tafel.

Fig. 177.



Auslader. Wenn man eine elektrische Flasche oder eine Batterie entladen will, ohne dass man durch einen elektrischen Schlag belästigt wird, so bedient man sich eines Ausladers. Der einfachste Auslader (Fig. 177) besteht aus einem hölzernen Handgriff *a*, an dessen einem Ende gebogene Metalldrähte *b c* durch Charnieren so befestigt sind, dass die freien Enden desselben, die in messingenen Kugeln enden, einander beliebig genähert oder von einander entfernt werden können. Bei der Anwendung bringt man die eine Kugel mit derjenigen Belegung in leitende Verbindung, welche mit dem Erdboden communicirt, und nähert die zweite Kugel der andern Belegung. Soll die Entladung ohne Funken und Knall vor sich gehen, so nimmt man von dem Ende des zweiten Drahtes die darauf befindliche Kugel ab und nähert darauf den Draht der zweiten Belegung.

Fig. 178.



Zu vielen Versuchen benutzt man Henley's allgemeinen Auslader (Fig. 178). In dem Brett *B B* befinden sich zwei Glasgefässe *A A* eingekittet, welche am oberen Ende die beweglichen Messinghülsen *a a* tragen. Zwei Drähte *b c*, *b c* die sich in

diesen Messinghülsen verschieben lassen, endigen bei *b* in einem Ring, bei *c* in eine durchbohrte Spitze, auf die eine Messingkugel aufgeschraubt werden kann. Durch den Fuss *C* lässt sich ein Tischchen *D* auf- und abschieben. Um eine Flasche zu entladen nähert man mittelst des isolirten Handgriffes *i* die an demselben befindliche Kugel dem Knopfe der Flasche, der Funken schlägt darauf auf diese Kugel und dann zwischen die beiden Kugeln *cc* durch.

Will man eine Spielkarte oder ein Stück Holz durchbohren, so legt man diese Gegenstände auf das Tischchen *D* und senkt die Spitzen *cc* in dieselben ein. Zieht man durch die Löcher der Spitzen die Enden eines feinen Metalldrahtes, so wird derselbe je nach seiner Dicke, nach der Leitungsfähigkeit und der Materie derselben geglüht, geschmolzen oder verflüchtigt, sobald die Entladung eintritt. Presst man Blattgold zwischen zwei Glasplatten zusammen, so wird durch den Entladungsschlag das Gold ins Glas geschmolzen. Alkohol, Terpentinöl und Schiesspulver werden entzündet.

Fig. 179.





Condensator. Der von Volta erfundene Condensator wird angewendet, um die Anwesenheit und Art der Elektricität solcher Körper zu erkennen, in denen dieselbe von so geringer Intensität ist, dass sie nicht unmittelbar auf das Elektroskop (siehe S. 227) einwirkt. Er besteht im Wesentlichen aus einem gewöhnlichen Goldblattelektroskop, auf dessen Collectorplatte *D* (Fig. 179) sich der eben so grosse Deckel *M* aufsetzen lässt, der aus demselben Metalle wie *D* besteht und mit isolirendem Handgriffe *a* versehen ist. Beide (Deckel und Platte) sind mit einer Schicht von Firniss überzogen. Wenn man die eine Platte, z. B. die untere, mit der Quelle der Elektricität, den Deckel dagegen dadurch mit der Erde in Verbindung setzt, dass man denselben mit den Finger berührt, so wird die Elektricität in der unteren Platte durch die Rückwirkung des Deckels condensirt. Das unter der Collectorplatte befindliche Elektroskop giebt sodann die Elektricität des Körpers zu erkennen.

Berührungselektricität.

Wenn zwei ungleichartige elektrische Leiter in Berührung gebracht werden, so entwickelt sich in denselben von der Berührungsstelle aus Elektricität, und zwar wird, wenn beide Leiter isolirt sind, der eine positiv, der andere negativ elektrisch. Die

sich berührenden Leiter nennt man hierbei Elektricitätserreger oder Elektromotoren, ihre Wirkung auf einander elektromotorische Wirkung und die durch dieselbe hervorgebrachte Elektricität Berührungs- oder Contactelektricität, oder weil diese Quelle der Elektricität von Galvani entdeckt und von Volta nachgewiesen wurde, Galvani'sche oder Volta'sche Elektricität. Gewöhnlich fasst man alle Erscheinungen, welche in das Gebiet der Berührungselektricität gehören, mit dem Namen Galvanismus zusammen.

Die durch die Berührung entstehende elektrische Ladung der Körper ist nur sehr gering und lässt sich nur durch feinere Versuche nachweisen. Am häufigsten wird dieselbe nachgewiesen durch die Berührung zweier verschiedener Metalle, zu denen man Zink und Kupfer wählt; durch die Berührung beider erhält das Zink die positive, das Kupfer die negative Elektricität. Dieser Versuch ist der sogenannte Volta'sche Fundamentalversuch. Er lässt sich auf verschiedene Weise anstellen; die vorzüglichsten Methoden sind folgende: Man bringt an einem gewöhnlichen Elektroskope anstatt der meist aus Messing bestehenden Collectorplatte eine Platte von Kupfer an und setzt auf dieselbe eine mit einer isolirenden Handhabe versehene gleich grosse Platte von Zink. Man hebt darauf die Zinkplatte parallel zur Kupferplatte ab, so dass die Trennung beider gleichzeitig an allen Punkten geschieht; das Elektroskop zeigt nun negative Elektricität d. h. die Elektricität des Kupfers an, das Zink dagegen positive Elektricität. Das Zink ist unter allen Umständen positiv elektrisch, was man dadurch nachweisen kann, dass man die kupferne Collectorplatte des Condensators mit einer Platte aus Zink vertauscht und auf diese eine Platte von Kupfer setzt. Wenn man bei dem beschriebenen Versuche die einander zugekehrten Flächen der Platten nur zum Theil mit einander in Berührung bringt, so sind die Aeusserungen der Berührungselektricität nach der Berührung sehr schwach und sind fast nicht mehr wahrzunehmen, wenn die Berührung nur in wenigen Punkten statt fand. Um zu beweisen, dass die Berührungselektricität nicht durch Druck oder durch Reibung der Metalle hervorgebracht werden, löthete Volta eine Zink- und eine gleich grosse Kupferplatte aneinander und stellte mit dieser Doppelplatte den Versuch in der Weise an, dass er die Zinkplatte in die Hand nahm und mit Kupfer die untere Condensatorplatte berührte, während die obere durch einen Finger mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt wurde. Selbst nach langer Zeit zeigten sich die Platten noch elektrisch.

Die erste Veranlassung zur Entdeckung der Elektricitätsentwickelung bei der Berührung verschiedenartiger Metalle gab die grosse Erregbarkeit von Froschschenkeln. Aloysius Galvani, Professor der Anatomie in Bologna, bemerkte nämlich im Jahre 1789, dass in den Schenkeln eines erst vor Kurzem getödteten Frosches Zuckungen entstanden, als dieselben mit der Spitze eines Messers berührt und zu gleicher Zeit aus dem Conductor einer Elektrisirmaschine ein Funken gezogen wurde. Als Galvani präparirte Froschschenkel mittelst kupferner Haken an einem eisernen Gitter aufhing, bemerkte er abermals die erwähnten Muskelcontractionen, sobald die Froschschenkel mit dem Eisen in Berührung kamen. Durch diese Versuche wurde Galvani veranlasst anzunehmen, dass die Muskeln und Nerven der Sitz einer eigenthümlichen, thierischen Elektricität seien und dass die Zuckungen in Folge elektrischer Ausgleichungen entständen. Alexander Volta, Professor zu Pavia, zeigte aber, dass die erwähnten Zuckungen nur dann deutlich eintreten, wenn der die Nerven und Muskeln des präparirten Frosches verbindende äussere Leiter aus ungleichartigen Metallen besteht; er sah sich hierdurch genöthigt, die Hypothese von Galvani umzukehren und anzunehmen, dass nicht der Froschkörper die Quelle und die Metalle die Leiter der Elektricität seien, sondern dass die Elektricität durch die Berührung der beiden Metalle erregt werde und dass der Froschkörper nur als Leiter diene. Volta wies ferner nach, dass die hierbei erzeugte Elektricität völlig identisch mit der gewöhnlichen sei.

Was die Ursache der Erscheinung der Berührungselektricität anbelangt, so lässt sich folgende Erklärung feststellen. Wenn man ein Stück Zink mit einem Stück Kupfer in Berührung bringt, so erfolgt in beiden Metallen eine Trennung der in ihnen enthaltenen Elektricitäten, das Zink erhält positive, das Kupfer negative Elektricität. Beide Elektricitäten streben sich mit einander zu verbinden und häufen sich an der Berührungsstelle an; ungeachtet des Leitungsvermögens der Metalle wird ihre Vereinigung durch die elektromotorische Kraft gehindert. So lange die Metalle mit einander in Berührung sind, ist die elektrische Spannung an denselben so unbedeutend, dass sie ohne Hülfe von Condensation selbst durch ein Elektroskop nicht nachgewiesen werden kann. Trennt man aber die beiden Metalle, so treten die beiden Elektricitäten mit voller Spannkraft auf und wirken auf das Elektroskop ein.

Einige Physiker (Faraday, De la Rive) nehmen, um die Erscheinungen der Berührungselektricität zu erklären, an, dass die Elektricität die Folge einer chemischen Verbindung sei, welche entweder zwischen den beiden sich berührenden Substanzen stattfindet, oder zwischen dem einen Elektromotoren einerseits, und dem Sauerstoff der umliegenden Luft oder dem in derselben enthaltenen Wasserdampf andererseits. Dieser Theorie zufolge muss man annehmen, dass die Elektricität, welche sich vor der Berührung an den sich chemisch verbindenden Substanzen in neutralem Zustande befand, durch den chemischen

Process zerlegt werde und dass die eine Elektricität von dem einen Erreger, die andere entgegengesetzte von dem anderen Erreger aufgenommen werde; oder man muss annehmen, dass von den sich verbindenden Stoffen der eine einen Antheil positive Elektricität, der andere einen Antheil chemisch gebundener Elektricität enthalte, und dass diese gebundene Elektricität durch die chemische Action ausgeschieden werde. Diese Hypothese erklärt aber nicht, warum die ausgeschiedenen entgegengesetzten Elektricitäten sich nicht sogleich wieder zu neutraler Elektricität vereinigen.

Die Mehrzahl der deutschen Physiker erklären die mechanische Berührung für das bei der Erscheinung der Berührungselektricität Wirksame und nehmen an, dass an der Berührungsstelle verschiedenartige Körper eine besondere Kraft, die elektromatorische Kraft, auf die in diesen Körpern enthaltene Elektricität vertheilend wirke, so dass die eine positiv, die andere negativ elektrisch werde. Die Spannung, die zwei sich berührende Körper erlangen, wird um so grösser sein, je mehr dieselben in Bezug auf ihre chemische Beschaffenheit von einander abweichen. Bei zwei Metallen, zwischen denen kein Gegensatz stattfindet, ist natürlich die elektrische Spannung = 0. Damit also bei Körpern eine elektrische Spannung stattfinde, ist es erforderlich, dass das Gleichgewicht der Elektricität zwischen ihnen aufgehoben werde und die Bedingung liegt in der Verschiedenartigkeit derselben. Je grösser dieselbe, desto grösser die Störung des Gleichgewichtes, desto stärker die elektrische Spannung.

Die Metalle bilden neben der Kohle eine bestimmte Spannungsreihe (d. h. eine Reihe elektrischer Leiter), in welcher ein jedes Glied in Berührung mit jedem vorhergehenden negativ elektrisch, mit jedem nachfolgenden positiv elektrisch wird. Für feste Leiter und gasförmige Körper hat man z. B. folgende Reihe gefunden: Wasserstoff, Zink, Blei, Zinn, Eisen, Wismuth, Kupfer, Antimon, Silber, Quecksilber, Gold, Platin, Kohle, Sauerstoff. Die Spannung zweier solcher von einander entfernter Körper ist gleich der Summe der Spannung aller dazwischen liegenden.

So ist z. B. die elektrische Spannung, welche bei der Berührung des Eisens und Silbers entsteht, der Summe der Spannungen zwischen Eisen und Kupfer und zwischen Kupfer und Silber gleich.

Es findet ferner Elektricitätsentwickelung statt zwischen Metallen und Flüssigkeiten; letztere nehmen indessen in der Spannungsreihe der Metalle keine bestimmte Stelle ein.

Es wurden Flüssigkeiten besonders in Bezug auf Platin geprüft, weil dieses letztere am wenigsten chemischen Einflüssen ausgesetzt ist. Negativ wird das Platin durch Lösungen von Aetzkali, Ammoniak, Jodkalium, Zinnchlorür, Kalk,

kohlensaures Natron u. s. w.; nicht merklich elektrisch durch Auflösungen von Kochsalz, Baryt, Blutlaugensalz, Chlorbaryum, Salpeter, phosphorsaures Natron u. s. w.; positiv elektrisch durch Wasser, Salmiak, schwefelsaures Natron, Bleizucker, Essigsäure, Weinsäure, Oxalsäure, Salzsäure, Schwefelsäure, Salpetersäure. Zink wird in Berührung mit Wasser positiv elektrisch. Dem Platin am ähnlichsten sollen sich Gold, Silber, Wismuth und Antimon verhalten.

Die Elektricität, welche sich bei der Berührung zweier Flüssigkeiten entwickelt, ist im Verhältniss zu der bei der Berührung zweier Metalle auftretenden sehr schwach. In Bezug auf die bei der Berührung fester Leiter mit Gasarten entwickelte Elektricität ist gefunden worden, dass die Metalle durch Berührung mit Wasserstoffgas stark negativ elektrisch, durch Berührung mit Chlor, Brom, Kohlensäure und Sauerstoffgas stark positiv elektrisch werden. Die Stärke der von Wasserstoffgas in den Metallen erregten negativen Elektricität ist abhängig von der Stellung des Metalles in der Spannungsreihe.

Diejenigen Körper, wie Kohle, Platin, Gold u. s. w., welche sich dem Gesetz der Spannungsreihe fügen, nennt man Leiter der ersten Ordnung; Flüssigkeiten und ähnliche Stoffe, welche nicht in eine bestimmte Spannungsreihe gebracht werden können, Leiter der zweiten Ordnung. Das Gesetz der Spannungsreihe gründet sich auf das Factum, dass die elektrische Differenz an je zwei Leitern erster Ordnung einerlei Grösse zeigt, gleichviel, ob diese beiden Leiter einander unmittelbar berühren, oder ob zwischen denselben beliebig viele Leiter erster Ordnung eingeschaltet sein mögen.

Die Volta'schen Ketten. Eine Reihe leitender Körper, von denen jeder den folgenden berührt, heisst eine Volta'sche oder Galvani'sche Kette, die sich berührenden Körper selbst heissen Glieder der Kette. Findet eine Berührung auch zwischen den beiden Endgliedern statt, so heisst die Kette eine geschlossene, im entgegengesetzten Falle eine offene. Je nachdem die Kette aus zwei, drei oder mehreren Gliedern besteht, heisst sie zwei-, drei- oder mehrgliederig. Sind sämmtliche Glieder einer vielgliedrigen Kette Metalle, so ist der Erfahrung gemäss der Spannungsunterschied der äussersten Glieder genau so gross, wie in einer aus zwei Gliedern gebildeten Kette; daher kann die Spannung in zwei Metallen durch Einschaltung metallischer Glieder nicht erhöht werden.

Durch eine Zusammenstellung von zwei Leitern erster Ordnung mit ein oder zwei Leitern zweiter Ordnung entsteht eine

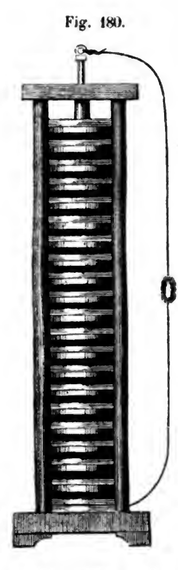
zusammengesetzte Kette, eine hydroelektrische Kette oder eine Volta'sche Batterie. Sie besteht entweder aus zwei Leitern erster Ordnung mit einem oder zwei Leitern zweiter Ordnung und heisst dann eine einfache Kette, oder sie besteht aus einer periodisch wiederkehrenden Folge von Leitern erster und zweiter Ordnung, oder mit andern Worten aus einer Zusammenstellung von gleichmässig angeordneten einfachen Ketten; im letzteren Falle heisst die Kette eine zusammengesetzte. Eine Zink- und eine Kupferplatte, die sich in einer Zelle befinden, welche eine leitende Flüssigkeit enthält, und die leitend mit einander verbunden werden können, bilden ein Volta'sches Element. Bei allen zu physikalischen Versuchen dienenden galvanischen Apparaten macht Zink den positiven Bestandtheil des Elementes aus, während das Kupfer als negativer Bestandtheil durch Platin oder durch Kohle ersetzt sein kann. Die zu den Volta'schen Ketten verwendeten Leiter zweiter Ordnung sind entweder Lösungen von Salzen (Kochsalz, Salmiak, Chlorkalk) oder Säuren (Salpetersäure, Schwefelsäure). In Bezug auf die Dauer des elektrischen Stromes theilt man die hydroelektrischen Ketten ein in veränderliche und in constante Ketten. Erstere enthalten einen, letztere zwei flüssige Leiter, welche durch ein Diaphragma d. h. durch eine poröse Scheidewand getrennt sind, die nur einen langsamen Austausch der Flüssigkeiten gestattet. Die constanten Ketten sind die beiweitem gebräuchlichsten und vollkommensten.

Galvanische Säulen.

Hydroelektrische Säulen.

Die Volta'sche Säule besteht aus Kupfer und Zink und einem dritten Leiter, welchem in der Spannungsreihe keine bestimmte Stelle zukommt. Zur Construction derselben bedient man sich einer Anzahl Platten aus Kupfer und Zink und eines feuchten Leiters, der zwischen zwei Plattenpaare zu liegen kommt. Als feuchten Leiter benutzt man ein Stück Tuch oder Pappe, dass mit einer Salzlösung oder mit einer sehr verdünnten Säure getränkt ist. Die Anordnung dieser drei Körper geschieht auf folgende Weise. Man nimmt eine Anzahl runder oder viereckiger Kupferplatten (K), eine gleiche Anzahl Zinkplatten (Z) und feuchte Tuchlappen (L) und baut sie auf einem Fussgestelle zwischen drei Glasstäben so auf, dass sie eine Art Säule bilden, in welcher die genannten Elemente in der Ordnung KZLKZLKZLKZLKZ auf einander folgen. Hat man die Säule mit einer Kupferplatte angefan-

Fig. 180.



gen, so schliesst man mit einer Zinkplatte, und umgekehrt. Meist ist eine Kupferplatte und eine Zinkplatte zusammengelöthet und letztere auf ihrer Oberseite etwas vertieft, um die durch das Gewicht der Platten aus den feuchten Leitern gepresste Flüssigkeit aufzuhalten. Fig. 180 zeigt uns eine Volta'sche Säule von 20 Plattenpaaren. Dasjenige Ende der Säule, welches mit einer Zinkplatte endigt, heisst der positive Pol oder der Zinkpol, das andere Ende der Kupferpol oder der negative Pol. Bei hinlänglicher Isolation der Säule wächst vom positiven zum negativen Pole hin die negative Elektricität auf den Kupferplatten in arithmetischer Progression; in gleicher Weise nimmt in umgekehrter Richtung der positiv elektrische Zustand der Zinkplatten zu. In der Mitte der Säule befindet sich ein Plattenpaar, welches keine freie Elektricität zeigt, im sogenannten Indifferenzpunkte, durch welchen die Säule gewissermassen in zwei entgegengesetzt elektrische Hälften getheilt wird. Da die beiden Pole einer isolirten Säule Quellen entgegengesetzter Elektricität sind, so muss nothwendiger Weise, wenn man beide Pole mit Drähten versieht, der mit dem positiven Pole verbundene Draht positiv, der am negativen Pole befindliche aber negativ elektrisch werden. Verbindet man beide Drähte mit einander, so muss eine beständige Wiedervereinigung der in der Säule entwickelten beiden Elektricitäten stattfinden. Hält man beide Drähte in geringer Entfernung einander gegenüber, so bemerkt man einen ununterbrochenen Funkenstrom von dem einen Drahte zu dem andern übergehen. Schliesst man die Pole der Säule durch eine Säule von abwechselnden Lagen von Metallplatten und feuchten Leitern, so ladet sich die eine Hälfte mit positiver, die andere mit negativer Elektricität. Eine Säule dieser Art nennt man eine Ladungssäule oder eine secundäre Säule (siehe unten Polarisation der Platten).

Die Wirkungen einer Volta'schen Säule sind nur schwach, was seinen Grund darin hat, dass das Tuch wegen des Druckes der darüber befindlichen Schichten nicht viel Flüssigkeit fassen kann, und dass ferner das Wasser sich zersetzt und die dadurch en stehenden Wasserstoffbläschen die Leitung unterbrechen.

Ausserdem ist das Reinigen der Elemente nach dem Gebrauche lästig. Die Volta'sche Säule findet deshalb nur noch selten Anwendung. Daraus, dass die Spannungen der beiden Endplatten in demselben Verhältnisse wachsen, als die Zahl der Elemente zunimmt, geht deutlich hervor, dass die sogenannten Leiter zweiter Classe (wie hier die Salzlösung oder die verdünnte Säure) nicht in die obenerwähnte Spannungsreihe der Metalle aufgenommen werden können, da sonst eine derartige Verstärkung unmöglich wäre.

Der Trogapparat ist Fig. 181 dargestellt. Die einzelnen Elemente bestehen aus Zink- und Kupferplatten, welche meistens aufeinander gelöthet sind. Diese Plattenpaare bringt man in einen Kasten von Porcellan, Steingut oder von Holz, dessen Wände inwendig mit einer nichtleitenden Harzschicht überzogen sind. Die Anordnung der Platten muss so erfolgen, dass die Kupferseiten, und folglich auch die Zinkseiten, alle nach einer Richtung hin liegen. Sind die Plattenpaare eingesetzt, so wird in die dadurch entstehenden Zellen der flüssige Leiter gegossen. Eine blosse Abänderung des Tragapparates ist der schon von Volta angewendete Becherapparat, der aus einer Anzahl gläserner Gefässe besteht, die mit dem flüssigen Leiter angefüllt sind. Ein jedes dieser Gefässe enthält eine Zink- und eine Kupferplatte, die sich aber nicht berühren. Eine jede Zinkplatte ist mit der Kupferplatte des vorhergehenden Gefässes durch einen Kupferdraht oder durch einen Kupferstreifen verbunden. Siehe beistehende Figur 182. Es kommt hierbei nicht auf die Grösse der Berührungsfläche, sondern nur auf die Grösse der die Flüssigkeit berührenden Metallflächen an.



Fig. 181.

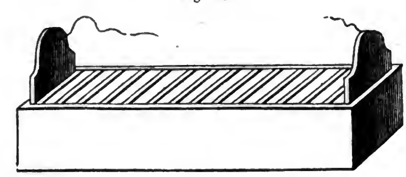
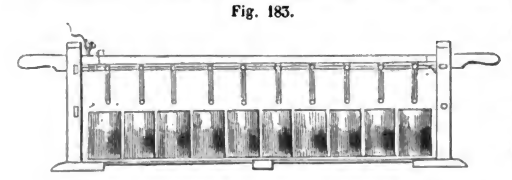


Fig. 182.

Nach Berzelius lässt sich die Zinkplatte durch eine blosse Zinkkugel ersetzen, an welche ein gekrümmter Kupferdraht gelöthet ist, welcher an dem andern Ende, das in das nächste Gefäss reicht, breit geschlagen ist, und so als Kupferplatte dient.

Der zweckmässigste Trogapparat ist der von Wollaston; bei demselben sind alle Plattenpaare an einem horizontalen Stabe befestigt, um sie gleichzeitig einsenken und herausnehmen zu können. [1] Siehe Figur 183.

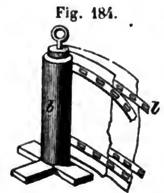
Fig. 183.



Erdbatterie. Der einfachste hydro-elektrische Erregungsapparat ist unstreitig die Erdbatterie, die man darstellt, indem man die Enden des Leitungsdrahtes auf einem Orte mit einer Kupferplatte, an einem andern entfernten Orte mit einer Zinkplatte versieht. Gräbt man diese Platten in die feuchte Erde ein, so geht ein kräftiger Strom durch die ganze Leitung hindurch. Offenbar ist eine solche Combination nichts anders, als ein einfaches Volta'sches Element, in welchem die Stelle der angesäuerten Tuchscheibe durch eine meilendicke feuchte Erdschicht vertreten ist. Die ausgedehnteste Anwendung findet die Erdbatterie in der elektrischen Telegraphie.

Wenn man eine grosse Quantität Elektricität entwickeln will, so ist es erforderlich, dass die Metallplatten eine grosse Oberfläche haben, wie es in Hare's Calorimotor oder Deflagrator der Fall ist. Derselbe besteht aus einem Holzcylinder *b* (Fig. 184), auf welchen zwei Platten, die eine von Zink-, die andere von Kupferblech, aufgewickelt sind, zwischen denen sich ein Tuchstreifen *l* befindet. Ist der Holzcylinder 1—1 ½ Fuss hoch, so erhält man ein Plattenpaar von 50 — 60 Fuss Oberfläche. Man benutzt diesen Apparat, Metalldrähte glühend zu machen oder zu schmelzen.

Fig. 184.



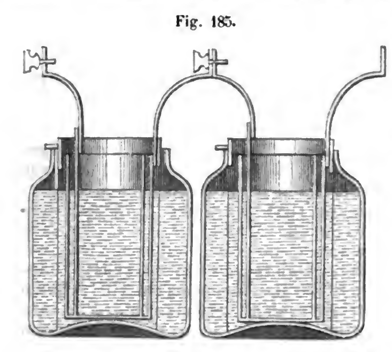
Die starke Wirkung einer solchen Kette entsteht durch den geringen Leitungswiderstand (s. weiter unten), welchen sie darbietet, indem bei bedeutendem Querschnitt der Flüssigkeitsschicht die Länge derselben unbedeutend ist, da die Windungen der beiden Platten in einander so eng wie möglich gemacht werden. Der Calorimotor ist in der neueren Zeit durch die constanten Ketten verdrängt worden.

Die in dem Vorstehenden beschriebenen Säulen haben den

Nachtheil, dass ihre Wirkungen nicht dauernd sind. Die Construction einer Säule von constanter Wirkung gab Daniell an.

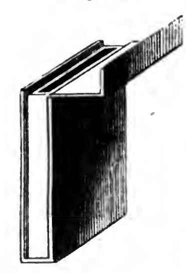
Die Daniell'sche Batterie oder die constante Kupferkette. Beistehende Zeichnung (Fig. 185) zeigt uns einen Durchschnitt von zwei Elementen dieser Batterie. Die Bestandtheile eines Elementes sind ein Glascylinder, in welchem sich eine gesättigte Ausflösung von Kupfervitriol befindet; eine cylindrisch gebogene Kupferplatte mit blanker Oberfläche, welche in die Kupfervitriollösung getaucht wird und daselbst eine mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Thonzelle (das Diaphragma), in welchem sich eine cylindrisch gebogene Zinkplatte befindet, umschliesst. Wird nun der Zinkcylinder mit dem Kupfercylinder, oder wenn mehrere Elemente vorhanden sind, jeder Zinkcylinder des einen mit dem Kupfercylinder des folgenden Elementes durch einen Kupferdraht verbunden, so erhält man einen mehrere Stunden lang gleichmässig wirkenden Strom.

Fig. 185.



Der Vorgang hierbei ist folgender. Das metallische Zink löst sich auf Kosten der verdünnten Schwefelsäure und es wird Wasserstoff frei, welcher sich mit einer proportionalen Menge des Sauerstoffs des Kupferoxydes im Kupfervitriol zu Wasser verbindet, wodurch metallisches Kupfer sich an der Kupferplatte abscheidet. Weil dadurch beide Metallflächen sowie die Flüssigkeiten ihre urspüngliche Beschaffenheit beibehalten, bleibt der circulirende Strom constant. Um die Kupfervitriollösung gesättigt zu erhalten, ist in den oberen Schichten dieser Lösung ein Sieb mit Kupfervitriolkrystallen angebracht. In Bezug auf die Dauer und Beständigkeit ist die Daniell'sche Batterie die mangelhafteste Combination aller constanten Ketten; bei kleinen Dimensionen und häufiger Benutzung verlangt sie eine tägliche Erneuerung der Flüssigkeit. Dagegen hat sie den grossen Vortheil, dass sie bei der Anwendung geruchlos ist, keine sauren Dämpfe entwickelt und deshalb überall aufgestellt werden kann.

Die Grove'sche Batterie oder constante Platinkette besteht aus amalgamirten Zink und Platin. Fig. 186 zeigt uns ein


Fig. 186.

Element derselben. Die Zinkplatte ist dergestalt gebogen, dass sie eine Zelle bildet, die oben und an beiden Seiten offen ist. In dieser Zelle befindet sich ein rechtwinkliger Trog von porösem Thon, der mit Salpetersäure gefüllt ist. An dem hervorstehenden Ende der Zinkplatte ist ein Platinblech befindlich, das in die Thonzelle des vorigen Paares hinabhängt. Jede Zinkplatte mit ihrer Thonzelle befindet sich in einem rechtwinkligen Gefässe von Glas oder Porcellan, welches mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist. Alle diese Gefässe sind in einem Gestelle von Holz zusammengestellt. Wenn man mehrere Elemente verbindet, so erhält man eine Wirkung, welche der eines einzelnen Elementes gleich ist, das so viel Metalloberfläche hat, als die einzelnen Elemente zusammengenommen.

Der Vorgang der Zersetzung ist folgender. Der durch Auflösen des Zinks in Schwefelsäure entwickelte Wasserstoff wird sogleich auf Kosten der Schwefelsäure oxydirt. Dadurch wird salpetrige Säure gebildet, die gasförmig entweicht; um das Entweichen dieser auf die Athmungswerkzeuge nachtheilig einwirkenden Dämpfe zu verhindern, bedeckt man die Thonzelle mit einem hölzernen Deckel. Die Platinbatterie ist von ausgezeichneter Wirkung, was Intensität, Dauer und Gleichmässigkeit des Stromes anbelangt. Anstatt der Platinbleche kann man auch vortheilhaft mit einem dünnen Ueberzuge von Platin bedeckte Porcellangefässe anwenden; ebenso ist der Versuch gemacht worden, das Platin durch platinirtes Blei zu ersetzen. Es kann nicht verwundern, dass eine solche Kette, in welche das Blei nur als leitende Masse eintritt, um einer sehr dünnen Platinplatte Festigkeit zu geben, so lange die Platinirung hält, dieselbe elektromotorische Kraft, wie die Grove'sche Batterie, besitzt. — Eine Modification der Groveschen Batterie ist die von Goodman, welche bei weitem kräftiger wirken soll. Dieselbe besteht aus einem theilweise mit Kupfervitriollösung gefülltem Glase, zu welchem etwas Schwefelsäure gesetzt worden ist; in diese Flüssigkeit wird ein am unteren Ende mit Blase verschlossenes und mit Steinöl angefülltes Rohr eingetaucht. Im Glase steht ein Platinstreifen; in das Steinöl wird Kaliumamalgam, an einem Kupferdraht befestigt, eingetaucht. Verbindet man das Platin mit dem einen, den Kupferdraht mit dem andern Platindraht einer mit Schwefelsäure gefüllten Zersetzungszelle und bringt man das Kalium mit der von der Säure befeuchteten Haut in Berührung, so entsteht eine dauernde Wasserzersetzung.

Die Bunsen'sche oder constante Kohlenkette unterscheidet sich im Wesentlichen von der Grove'schen Batterie dadurch, dass in ihr das Platin durch die noch mehr elektronegative

Kohle ersetzt ist. Ein Element dieser Batterie besteht aus einem Cylinder von Kohle, der in einem unten geschlossenen Thoncylinder befindlich ist. Letzterer ist von einem an beiden Seiten offenen Zinkcylinder umgeben, welcher in einem Glasgefässe steht Vom Zinkcylinder führt endlich ein kupferner Draht zu dem um den obern Rand des Kohlencylinders gelegten metallenen oder platinirten Ringe. Beim Gebrauche des Apparates wird der thönerne Cylinder mit Salpetersäure, das Glasgefäss mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt.


Fig. 187.



Ein solcher hoher Cylinder von 4 Zoll Höhe, $2\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser und ungefähr zwei Linien Wanddicke steht, siehe Fig. 187, in einem Glasgefässe, welches sich nach oben so weit verengt, dass zwischen der Kohle und dem Glase nur ein geringer Zwischenraum übrig bleibt. In dem Kohlencylinder steht ferner ein unten verschlossenes poröres Thongefäss von $3\frac{1}{2}$ Zoll Höhe und einem der Weite des Kohlencylinders nahe kommenden Durchmesser. Auf den über das Glas hervorragenden Rand des Kohlencylinders ist ein Ring *a* von Zink fest aufgesteckt, welcher an dem Zinkstreifen *b* den hohlen Zinkcylinder *c* von 3 Zoll Höhe und $1\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser trägt. Dieser Cylinder taucht in den mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Thonbecher des nächsten Glases. Das Glas enthält so viel Salpetersäure, dass nach dem Einsetzen des Thoncylinders die Flüssigkeit bis zum engern Halse des Glases zu stehen kommt. Bei Anwendung mehrerer Elemente werden dieselben unter einander so verbunden, dass der Zinkcylinder des ersten Glases durch einen Zinkstreifen mit dem Zinkringe in Verbindung steht, welcher den Kohlencylinder des zweiten Glases umfasst. Auf dieselbe Weise verbindet ein Zinkstreifen den Zinkcylinder des zweiten mit dem Zinkringe des dritten Glases, und es ist überhaupt jeder Zinkcylinder durch einen Zinkstreifen des nächstfolgenden Glases verbunden. Derjenige Ring, welcher sich auf dem Kohlencylinder des ersten Glases befindet, endigt in einen längeren Zinkstreifen, ebenso der Zinkcylinder im letzten Glase. Verbindet man beide Streifen vermittelst eines Drahtes, so geht der Strom von dem Kohlencylinder zum Zinkcylinder über, von diesem durch die verdünnte Schwefelsäure, die poröse Thonmasse und die Salpetersäure zur nächsten Kohle u. s. f.

Die Bunsen'schen Kohlencylinder erhält man, indem man ein feingepulvertes Gemenge von ausgeglühtem Coks mit Backkohle in blechernen Formen zusammenschmilzt und glüht, die so erhaltene poröse Masse mit concentrirter Zuckerlösung tränkt, trocknet und bis zum starken Weissglühen erhitzt. Die Masse erhält dadurch Festigkeit und elektrisches Leitungsvermögen. Die cylindrische Form giebt man derselben auf der Drehbank. Den oberen Rand tränkt man mit Wachs, wodurch das Eindringen der Salpetersäure bis an diesen Theil verhindert wird. Die Bunsen'sche Batterie giebt fast ebenso kräftige Wirkungen, wie die Grove'sche, und ist bedeutend wohlfeiler; sie hat aber dieselben Unannehmlichkeiten in Bezug auf die Entwickelung von salpetersaurem Gase. Man hat diese Unannehmlichkeit durch Anwendung von Chromsäure oder eines Gemisches von zweifach chromsauren Kali mit Schwefefsäure statt der Salpetersäure zu beseitigen gesucht. Versuche haben jedoch gelehrt, dass die Chromsäure die Salpetersäure weder in der Platin- noch in der Kohlenbatterie zu ersetzen vermag.

In England benutzt man fast allgemein die Sandbatterie, welche aus Kupfer, Zink und Sand besteht. Man presst den Sand zwischen die Metallplatten in Fässer oder Tröge und befeuchtet denselben mit verdünnter Schwefelsäure.

Die Smee'sche Batterie, welche auf mehreren Telegraphenlinien benutzt wird, besteht aus einer mit feinzertheiltem Platin (Platinmohr) überzogenen Silberplatte, welche zwischen zwei amalgamirte Zinkplatten gestellt ist. Die Platten tauchen ohne poröse Scheidewand in 25fach verdünnte Schwefelsäure. Die Silberplatte hat die Dicke eines Kartenblattes, die Zinkplatten sind $\frac{1}{3}$ Zoll dick. Um die Berührung von Zink und Platin zu verhüten, befinden sich zwischen den Platten Polster aus Gutta Percha.

Der Platinmohr wirkt ebenso wie die Salpetersäure, d. h. sauerstoffabgebend und wasserbildend. Die Smee'sche Batterie hat den Vorzug der Geruchlosigkeit, indem sich nur Wasserstoffgas entwickelt, und besitzt ausserdem eine bedeutende elektromotorische Kraft, da die Silberplatten, der Platinirung wegen, wie Platinplatten wirken. — Das Amalgamiren des Zinks gelingt leicht, wenn man auf die vorher mit etwas Säure gereinigten Platten etwas Quecksilber oder salpetersaures Quecksilberoxyd bringt und vermittelst eines Läppchens einreibt.

Die Wheatstone'sche Batterie ist nur eine Abänderung der Daniell'schen. Bei derselben fällt die verdünnte Schwefelsäure hinweg und es wird die poröse Thonzelle mit flüssigem Zinkamalgam gefüllt, in welche das Kupferende des nächstfolgenden Apparates eintaucht. Eine derartige Zinkamalgam-Kette giebt einen sehr constanten aber nicht starken Strom.

Neuen Versuchen zufolge sollen kurze Thoncylinder mit durch Salpetersäure befeuchtetem Cokspulver in Verbindung mit Blei- oder Zinkcylindern, erstere mit Kochsalzlösung, letztere mit ver-

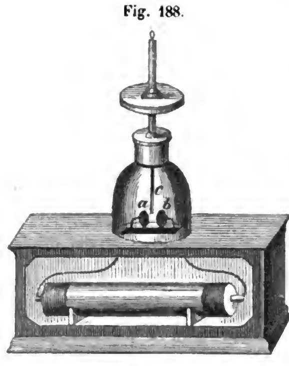
dünnter Schwefelsäure angefüllt, einen sehr constanten Strom erzeugen. Nach Stöhrer erhält man durch Combination von Kohle mit unamalgamirtem Zink bei Anwendung einer concentrirten Alaunlösung eine Säule von constanter Wirkung.

Nach Poggendorf erhält man Säulen von bedeutender Wirkung, wenn man die Kohlencylinder durch gusseiserne ersetzt und dabei concentrirte rauchende Salpetersäure anwendet. Man hat ferner Säulen construirt, in welchen nur ein Metall mit zwei Flüssigkeiten die Kette bildet, so besteht z. B. Schönbein's Säule aus einem gusseisernen Cylinder, in welchem ein Thoncylinder steht, welcher einen gusseisernen Cylinder umschliesst. Der äussere Cylinder enthält ein Gemenge aus 3 Theilen concentrirter Salpetersäure und 1 Theil Schwefelsäure, der innere verdünnte Schwefelsäure.

Trockene Säulen.

Die trockenen oder Zamboni'schen Säulen bestehen aus lauter festen Substanzen, ohne feuchte Zwischenleiter. Man baut dieselben aus runden Papierscheiben, deren eine Seite mit unächtem Silberschaum beklebt ist, während sich auf der andern feingepulverter Braunstein (Mangansuperoxyd) eingerieben befindet. Tausend bis Zweitausend solcher Platten werden so übereinander geschichtet, dass die Metallseite immer nach einer Seite hin gerichtet ist. Um einer solchen Säule Festigkeit zu geben, presst man die einzelnen Platten durch seidene Schnüre zusammen. Der Bequemlichkeit wegen bringt man diese Säule auch in eine Glasröhre. Andere trockene Säulen construirt man mit Scheiben von Silberpapier und eben so grossen Platten von Zinkblech: solche Säulen werden, um sie vor dem Einflusse der Luft zu schützen, mit Schellack oder mit geschmolzenem Schwefel überzogen. Jäger baute eine Säule aus dünnen Glasscheiben, die auf der einen Seite mit Kupferfolie, auf der andern mit Zinkfolie belegt waren. Die trockene Säule ist in Bezug auf die Art der Wirkung der Volta'schen zu vergleichen. obgleich die Wirksamkeit einer trockenen Säule weit geringer ist. Die beiden Metalle erzeugen auch hier die elektromotorische Kraft und das hygroskopische Papier vertritt hier die Stelle des feuchten Leiters. Die Säule verliert sogleich ihre Wirksamkeit, sobald das Papier austrocknet. Der Vorzug der trockenen Säule liegt darin, dass man wohlfeile und leicht zu handhabende Säulen aus mehreren tausend Plattenpaaren in einem kleinen Raume herstellen kann. Die trockene Säule wird, wie schon Seite 228 bemerkt worden ist, zur Construction des nach Bohnenberger

Fig. 188.



benannten Elektroskop benutzt, welches von Becquerel und Fechner wesentlich verbessert worden ist. Dasselbe (Fig. 188) besteht aus einer Säule von 800 bis 1000 Plattenpaaren, die mit Seidenfäden zusammengeschnürt und in einer Glasröhre eingeschlossen ist, deren Enden mit metallenen Klappen versehen sind. Diese Klappen stehen mit den Polen in leitender Verbindung; es befinden sich an denselben Metalldrähte, an deren Enden Metallplatten befestigt sind. Man bringt diese Säule in horizontaler Lage in den Kasten, so dass die Polplatten ein wenig aus demselben hervorragen; zwischen diesen Platten hängt das Goldblättchen.

Den Beschluss dieses Abschnittes macht diejenige Art Volta'scher Combination, welche im Jahre 1842 von Grove aufgestellt und mit dem Namen Gasbatterie bezeichnet wurde. Sie hat im Wesentlichen folgende Zusammensetzung. Unten offene, oben geschlossene Glasröhren, mit eingeschmolzenen Platinstreifen versehen, die vorher platinirt worden waren, d. h. einen Ueberzug von Platinmohr (wie bei der Smee'schen Batterie) erhalten hatten, werden paarweise (H und O) mit Wasserstoff und Sauerstoff gefüllt und in Glasgefässe eingetaucht, welche angesäuertes Wasser enthalten. Das Platin eines jeden Rohres muss noch mit der verdünnten Säure in Berührung stehen. Das Platin des ersten Wasserstoffrohres (H_1) wird mit dem Platin des zweiten Sauerstoffrohres (O_2), das Platin des zweiten Wasserstoffrohres (H_2) mit dem Platin des dritten Sauerstoffrohres (H_3) u. s. w., und endlich das Platin des letzten Wasserstoffrohres mit dem Platin des ersten Sauerstoffrohres (O_1) metallisch verbunden. In der so geschlossenen Kette entsteht ein Strom in der Richtung von Wasserstoff durch die Säure zum Sauerstoff, der alle bekannten Stromwirkungen erzeugt. Dabei werden die Gase mehr im Verhältniss ihrer Aequivalente, oder wie 2 : 1 (Wasserstoff : Sauerstoff) aufgezehrt, und zwar betragen die Mengen jedes Gases genau so viel, als vermöge des erregten Stromes durch Zersetzung des Wassers ausgeschieden werden würde.

Um eine wirksame Gasbatterie zu erhalten, ist die Platinirung der Platinstreifen wesentlich; die Ursache ist offenbar die, dass durch den schwammigen Ueberzug die Flüssigkeit durch Capillaraction in den Gasraum heraufgezogen wird, wodurch die Berührungspunkte der Gase mit Flüssigkeit und Metall vervielfältigt werden. Bei der Gasbatterie lässt sich eine vom Sauerstoff ausgeübte elektromotorische Thätigkeit als einzig denkbare Ursache der Stromerregung nicht in Zweifel ziehen. Der Physiker Beetz hat Versuche und Messungen angestellt, bei welchen die Platinstreifen mit verschiedenen Gasen und Dämpfen geladen wurden; es geht daraus deutlich hervor, dass die elektromotorischen Kräfte gasförmiger Körper, welche durch Vermittelung von platinirten Platinplatten einander gegenüber stehen, gleichwie diejenigen der Metalle unter einander dem Gesetze der Voltä'schen Spannungsreihe folgen, d. h. dass die Summe der elektromotorischen Kräfte einer Reihe von Gasen, die nach bestimmter Ordnung je zu zwei in einer Gaskette verbunden sind, gleich ist der elektromotorischen Kraft der beiden Endglieder dieser Reihe.

Elektrischer Strom einer Volta'schen Kette. Werden die beiden Glieder einer einfachen Kette oder die beiden Pole einer Säule durch einen Leiter, den Schliessungsleiter mit einander verbunden, so erfolgt ebenso wie bei der leitenden Verbindung des Conductors und des Reibezeuges einer Elektrisirmaschine in der Kette oder Säule eine Ausgleichung der Elektricitäten, wodurch zwei nach entgegengesetzten Richtungen gehende Ströme, ein positiver und ein negativer entstehen. Diese Ströme erneuern sich in Folge der fortdauernden elektromotorischen Kraft fortwährend. Um nicht einen Unterschied zwischen dem positiven und dem negativen Strome machen zu müssen, berücksichtigt man nur den ersten, und meint, wenn man von einem elektrischen Strome spricht, stets den positiven. In einem aus Kupfer und Zink bestehenden Elemente, wird durch die elektromotorische Kraft die positive Elektricität vom Kupfer zum Zink getrieben. In einer aus Zink, aus Kupfer (oder Kohle oder Platin) und einer Flüssigkeit gebildeten einfachen Kette, circulirt, wenn die festen Glieder mit einander verbunden sind, in Folge der durch die Flüssigkeit stattfindenden Ausgleichung der durch die Berührung hervorgehenden entgegengesetzten Elektricitäten ein Strom, der vom Kupfer (Platin oder der Kohle) zum Zink und von da zurück durch die Flüssigkeit geht. Mit diesem Strom circulirt aber noch ein anderer, der durch die Berührung der festen Leiter mit den Flüssigkeiten entstanden ist; derselbe verfolgt dieselbe Richtung wie der erstere Strom und wirkt also verstärkend auf denselben ein. Die Beschaffenheit des flüssigen Leiters ist von grossem Einflusse auf die Wirksamkeit des elektrischen Stromes.

Von den Wirkungen des elektrischen Stromes.

Die Wirkungen, welche von elektrischen Strömen ausgeübt werden, sind:

1) Optische und thermische Wirkungen,
2) Physiologische Wirkungen,
3) Chemische Wirkungen,
4) Magnetische Wirkungen (Einwirkungen auf magnetische und magnetisirte Körper),
5) Elektrodynamische Wirkungen (bestehend in Anziehungen und Abstossungen gegen andere in der Nähe befindliche Ströme),
6) Inductorische Wirkungen (bestehend in der Erregung elektrischer Slröme in nahe liegenden geschlossenen Leitern).

1. Optische und thermische Wirkungen des elektrischen Stromes. In dem Augenblicke, wo man die Pole einer galvanischen Batterie mit einander leitend verbindet oder die leitende Verbindung aufhebt, bemerkt man einen glänzenden Funken (Schliessungsfunke, Trennungsfunke), dessen Intensität nicht von der Spannung, sondern von der Quantität, mithin von der Grösse der Plattenpaare abhängig ist. Man erhöht die Helligkeit des Funkens durch Amalgamiren des Drahtendes, weil in diesem Falle ein Theil des Quecksilbers verbrennt. Benutzt man Metalldrähte als Schliessungsleiter, so werden dieselben erhitzt, und wenn sie hinreichend kurz und dünn sind, geschmolzen und unter lebhaftem Funkensprühen verbrannt. Gold- und Silberblättchen lassen sich selbst verflüchtigen. Am intensivsten ist die Licht- und Wärmeentwickelung, welche zwischen Kohlenspitzen entsteht, die mit den Polen einer hinreichend starken Batterie in Verbindung gesetzt sind, einander bis zur Berührung genähert und sodann wiederum so weit entfernt werden, dass der Strom noch von der einen zur andern übergeht. Indem die glühenden Kohlentheilchen von der einen Spitze zu der andern überspringen, erhält man die herrliche Erscheinung eines Lichtbogens, der an Intensität das Drummond'sche oder Sideral-Licht weit übertrifft und dem Lichtglanz der Sonne nahe kommt. Man kann zu derartigen Versuchen den Bunsen'schen Apparat benutzen, indem man die Pole mit zwei Kohlenstücken von der nämlichen Masse, aus der die Cylinder bestehen, verbindet und durch die Spitzen selbst mit einander in Berührung bringt. In dem Lichtbogen selbst schmelzen die am schwierigsten zu schmelzenden Substanzen.

Man hat das elektrische Licht zur Beleuchtung in Gruben vorgeschlagen, da sich die Drähte in Glasballons luftdicht einschliessen lassen, wodurch die Unglücksfälle, die durch Entzündung von Grubengas häufig entstehen, vermieden werden. In der neueren Zeit sind in Petersburg sehr interessante Versuche mit der elektrischen Strassenbeleuchtung angestellt worden. Die Batterie, welche den Strom lieferte, war eine Bunsen'sche Batterie von 185 Elementen. Das dadurch erzeugte Licht war so hell, dass es die Augen kaum einige Secunden lang ertragen konnten; trotzdem, dass ganz reine Luft und sternhelle Nacht war, sah man, seitwärts stehend, in der Luft von dem Lichte die Strahlen ausgehen, gerade so, als wenn Sonnenlicht durch ein kleines Loch in eine finstere Kammer fällt. Das Licht der Gaslaternen erschien roth und russig. — Vorschläge, das elektrische Licht auf Leuchtthürmen anzuwenden, sind bis jetzt noch nicht auf genügende Weise in Ausführung gebracht worden. Die einzige Anwendung des Kohlenlichtes ist gegenwärtig die auf den Bühnen, um den Aufgang der Sonne nachzuahmen. Ausserdem hat Arago vorgeschlagen, das Fadenkreuz eines Fernrohres durch den elektrischen Strom zu erleuchten. Dieser Physiker bildet entweder das Fadenkreuz selbst aus sehr dünnen Platinfäden, welche durch eine kleine galvanische Kette glühend gemacht werden, oder er bringt zwischen dem Ocular und einem gewöhnlichen Fadenkreuze Platindrähte an, welche ebenfalls durch einen galvanischen Strom zum Glühen gebracht werden, und das Fadenkreuz auf der Seite des Beobachters erleuchtet.

Die thermischen Kräfte des elektrischen Stromes wendet man bereits an zum Glühendmachen von Drähten und dadurch bewirkte Entzündung von Schiesspulver behufs der Sprengung von Felsen. Despretz benutzte ferner die durch den elektrischen Strom hervorgebrachte Hitze, um Substanzen, die bisher noch nicht geschmolzen worden waren, zu schmelzen und zu verflüchtigen. Er wendete bei der einen Versuchsreihe 600 Bunsen'sche Elemente an; Silicium schmolz mit Leichtigkeit und ritzte nach dem Erkalten Glas; Bor zeigte sich schmelzbarer und flüchtiger als Silicium. Im luftleeren Raume und unter dem Einflusse von 500—600 Bunsen'schen Elementen lässt sich Kohle verflüchtigen, biegen, zusammenschweissen und schmelzen. Jede Art von Kohle wird um so weicher, je längere Zeit sie der Hitze ausgesetzt war, und verwandelt sich endlich in Graphit, der sich allmählich verflüchtigt. Der Diamant verwandelt sich unter dem Einflusse solcher Hitze ebenfalls in Graphit.

2. Physiologische Wirkungen des elektrischen Stromes. Die physiologischen Wirkungen der Berührungselektricität sind denen der Reibungselektricität im Allgemeinen sehr ähnlich. Wenn man, um die Haut besser leitend zu machen, die Hände mit etwas Salzwasser befeuchtet und die Pole einer Batterie berührt, so erhält man einen Schlag, dessen Intensität mit der Anzahl der Plattenpaare oder der Elemente wächst. Um diesen Schlag zu verstärken, nimmt man grosse Metallstücke in die Hände und berührt damit die Pole, oder man legt die Hände in zwei Scherben, in denen sich Salzwasser befindet und welche mit den Polen durch Drähte verbunden sind. Die Stärke des Schlages

nimmt zu und steigert sich zum Unerträglichen, wenn man durch oftmals wiederholtes Schliessen und Oeffnen der Kette die Eindrücke schnell aufeinander folgen lässt. Der elektrische Schlag wird empfunden bei jedem Schliessen und bei jedem Oeffnen der Kette, ersterer Schlag heisst der Schliessungsschlag und letzterer, welcher stets schwächer ist, der Trennungsschlag. Um die Wirkung auf die Nerven zu steigern, lässt sich sehr zweckmässig das Blitzrad von Neef anwenden.

Dieser Apparat besteht aus einer horizontalen Kupferscheibe, in welcher runde, mit Glas oder Ebenholz ausgefüllte, gleich weit von einander abstehende Löcher gebohrt sind, welche nahe dem Rande die ununterbrochene Mitte der Scheibe kreisförmig umgeben. Die Axe ist vermittelst eines Quecksilbergefässes mit dem einen Pole der Säule verbunden. Der Draht des anderen Poles schleift auf dem durch die Glasstücke unterbrochenen Rande. Berührt er das Glas (oder das Ebenholz), so ist die Säule geöffnet, berührt er das Kupfer hingegen, geschlossen. Während der Drehung findet daher ein abwechselndes Schliessen und Oeffnen statt. Durch Steigerung der Drehungsgeschwindigkeit gehen die physiologischen Wirkungen des Oeffnens und Schliessens in das eigenthümlich brennende Gefühl des dauernden Schlusses über.

Bringt man ein Silberstück unter die Zunge und ein Zinkstück auf dieselbe und berührt die vorderen Enden beider Metalle mit einander, so empfindet man einen stechend säuerlichen Geschmack, der nicht dem Zink angehört, weil derselbe mit der Aufhörung der Berührung beider Metalle verschwindet.

Sehr gut lässt sich die physiologische Wirkung des elektrischen Stromes an einem Blutegel zeigen, welchen man auf eine Kupfer- oder Silbermünze bringt, die in der Mitte einer grösseren Zinkplatte liegt. Sobald der Blutegel die Zinkplatte berührt, prallt er convulsivisch zurück.

Wenn man ein Stück Zink an das Zahnfleisch der oberen Backenzähne und ein Stück Silber an dieselbe Stelle auf der anderen Seite des Mundes bringt, so gewahrt man bei jedem Oeffnen und Schliessen der Kette einen blitzähnlichen Lichtschein; derselbe tritt deutlicher hervor, wenn man den Strom durch die Augen leitet. In die Nase gebracht, erregt der negative Pol einen Reiz zum Niessen, der positive hingegen bringt Abstumpfung und eine Art sauren Geruchs hervor. Führt man die Leitungsdrähte mit abgerundeten Enden tief in die Ohren hinein, so nimmt man ein eigenthümliches Sausen wahr. Die Nerven und Muskeln frisch getödteter, besonders kaltblütiger Thiere werden durch den elektrischen Strom in heftige Zuckungen versetzt. Aldini und Ure beobachteten an soeben Hingerichteten Verzerrungen des Gesichtes, Oeffnen und Schliessen der Augen und selbst die Respiration kam

auf einige Augenblicke wieder in Thätigkeit. Scheintodte und Ohnmächtige können durch elektrische Schläge wieder ins Leben zurückgerufen werden. In der neueren Zeit ist die galvanische Elektricität als Heilmittel angewendet worden, und man hat die mannichfaltigsten, mitunter oft widersinnigsten Apparate (wie z. B. Goldbergers Rheumatismusketten) construirt. Der Nutzen der Elektricität bei Krankheiten, die auf einer Lähmung der Nerven und Gefässe beruhen, ist nicht zu verkennen.

3. Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes. Eine der interessantesten Wirkungen des elektrischen Stromes ist unstreitig die, gewisse zusammengesetzte Körper, die sich in Folge geeigneter Temperatur, oder mittelst eines Lösungsmittels in tropfbarem Zustande befinden, durch welche der Strom geht, zu zersetzen, wobei sich die Bestandtheile, in welche die Körper auf diese Weise zerlegt werden, an denjenigen Stellen abscheiden, an welchen der Strom in den der Zersetzung unterworfenen Körper tritt. Der eine Bestandtheil wird an der Eintrittsstelle des Stromes in die Flüssigkeit, der andere an der Austrittsstelle ausgeschieden. Diejenigen Körper, welche einer Zersetzung durch den elektrischen Strom fähig sind, nennt man, nach Faraday's Terminologie, Elektrolyte, und die Zersetzung selbst Elektrolyse. Die Stellen, an welchen der Strom zu den Elektrolyten tritt, heissen Elektroden; die positive Elektrode wird Anode, die negative Kathode genannt. Die Bestandtheile des Elektrolyten, in welche derselbe durch die Elektrolyse zerfällt, heissen Ionen, und zwar heisst der an der Anode erscheinende Anion, der andere hingegen Kathion. Die Elemente sind einfache Ionen; ein einfaches Elektrolyt besteht aus einfachen Ionen. Der Vorgang der Elektrolyse hat sich zuerst am Wasser dargeboten. Wenn man die beiden Poldrähte einer Säule in ein Gefäss mit Wasser leitet, so entwickeln sich an den beiden Polen der Drähte Gase, die, wenn sie, wie in dem Fig. 189 abgebildeten Apparate, verschieden aufgefangen werden, verschiedene Volumen zeigen. Das Volumen des einen Gases ist genau das Doppelte von dem Volumen des andern Gases. Das grosse Volumen ist Wasserstoff, das kleine Sauerstoff. Diese beiden Gase stehen hinsichtlich ihrer Volumen fast genau in demselben Verhältnisse in welchem sie, gemengt und nachher angezündet, Wasser geben. Denn, wenn man die beiden Gase

Fig. 189.

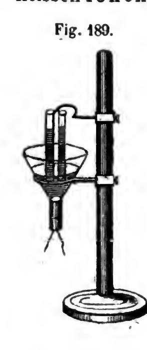


Fig. 190. in der Fig. 190 abgebildeten und Seite 238 beschriebenen Eudiometerröhre vereinigt und durch das Gasgemenge den elektrischen Funken schlagen lässt, so treten die Gase vollständig zu Wasser zusammen und es bleibt kein Gas zurück.

Bei der Zersetzung des Wassers durch strömende Elektricität tritt das Wasserstoffgas an der Kathode, das Sauerstoffgas an der Anode auf. Salzsäure (Chlorwasserstoffsäure) giebt an der Anode Chlor, an der Kathode Wasserstoffgas; Kali, Natron u. s. w. geben als Anion Sauerstoff, als Kathion Kalium, Natrium u. s. w. Davy bewirkte bekanntlich die Zerlegung der Alkalien zuerst durch den elektrischen Strom.

Bei der elektrochemischen Zersetzung eines Salzes, z. B. des Glaubersalzes (schwefelsauren Natrons), scheidet sich der elektronegative Bestandtheil, die Säure, an der Anode, der elektropositive Bestandtheil, das Natron, an der Kathode aus. Dass dies in der That so geschieht, lässt sich vermittelst des Apparates Fig. 191 nachweisen.

Fig. 191.



Die gebogene Röhre enthält eine Lösung von Glaubersalz, die durch etwas Veilchensyrup blau gefärbt ist. Veilchensyrup hat die Eigenschaft, sich durch eine Säure roth, durch eine Base, wie durch Natron, grün zu färben. Taucht man nun in den einen Schenkel der Röhre den positiven, in den andern den negativen Draht, so wird derjenige Schenkel, in welchem sich die Säure ausscheidet, roth, und der andere, welcher das Kali enthält, grün gefärbt erscheinen. Da Wasser das gewöhnlichste Auflösungsmittel der Elektrolyten ist, so treten seine Bestandtheile häufig mit ins Spiel und veranlassen secundäre Erscheinungen.

So erhält man z. B. bei der Elektrolyse von Jodkaliumlösung an der Anode Jod, an der Kathode Wasserstoffgas und Kali; Kupfervitriol (schwefelsaures Kupferoxyd) giebt an der Kathode reines metallisches Kupfer, weil der daselbst ausgeschiedene Wasserstoff des zersetzten Wassers das von der Schwefelsäure getrennte Kupferoxyd reducirt und sich mit dessen Sauerstoff zu Wasser verbindet. Bleizucker (essigsaures Bleioxyd) giebt an der Anode Bleisuperoxyd, an der Kathode metallisches Blei. Wird verdünnte Salpetersäure dem elektrischen Strome ausgesetzt, so erscheint an der Kathode Wasserstoffgas; beim Behandeln von verdünnter Schwefelsäure erscheint an der Anode Sauerstoff, an der Kathode aber Schwefel und reines Wasserstoffgas, woraus man schliessen kann, dass nur dabei das Wasser elektrolysirt wurde, der Schwefel aber durch die Einwirkung des Wasserstoffs auf den Sauerstoff der Schwefelsäure abgeschieden

worden ist. Viele Körper können nur in Folge secundärer Wirkungen elektolysirt werden, und es ist in vielen Fällen schwierig zu beurtheilen, ob abgeschiedene Körper Jonen sind, oder ob ihre Abscheidung nur durch secundäre Wirkungen hervorgebracht worden ist.

Der elektrische Strom ist daher fähig, entweder einen zusammengesetzten Körper unmittelbar zu zersetzen, oder Körper frei zu machen, welche ihrerseits wiederum auf einzelne Bestandtheile der Verbindung wirken und secundäre Erscheinungen veranlassen.

Der an der Anode sich ausscheidende Bestandtheil eines Elektrolyter nennt man den elektropositiven, den an der Kathode befindlichen den electronegativen.

Da bei der Vereinigung ungleichartiger Elektricitäten Licht- und Wärmeentwickelung stattfindet, so glaubt man, dass auch die oft zu bemerkende Feuererscheinung bei chemischer Verbindung ungleichartiger Körper aus einer Ausgleichung des entgegengesetzt elektrischen Zustandes erklärt werden könne. Man schrieb deshalb die Anziehung der sich mit einander verbindenden ungleichartigen Körper entgegengesetzt elektrischen Zuständen zu, welche sich auch durch die Zersetzung schon zu erkennen giebt. Auf diese Anschauungsweise gründet sich die elektrochemische Theorie. Bei der Zerlegung einer Säure verhält sich das säuernde Princip negativ, das Radical positiv; bei Zerlegung eines Salzes, wie schon erwähnt, die Säure negativ, die Base positiv. Erhebt man dieses Verhalten zur allgemeinen Norm, so giebt die Elektrolyse, wo sie möglich ist, ein Mittel an die Hand, in zweifelhaften Fällen über die chemische Natur eines Stoffes zu entscheiden.

Sowie aber der elektrische Strom chemische Zerlegungen bewirkt, so ist er auch geeignet die chemische Verbindung von Körpern zu vermitteln, so werden, Platin und Gold ausgenommen, fast alle Metalle als Anoden eines Stromes angewendet, in reinem Wasser und bei abgeschlossener Luft oxydirt, was ausserdem nicht der Fall ist.

Derjenige elektrische Strom, welcher die Elektrolyse von einem Aequivalent Wasser zu bewirken vermag, ist im Stande, in jedem anderen binär zusammengesetzten Körper, der von dem elektrischen Strome durchströmt wird, ebenfalls ein Aequivalent zu zersetzen. Faraday gründete darauf das Gesetz, dass die ***durch die elektrischen Ströme zerlegten Gewichtsmengen sich wie die chemischen Aequivalente verhalten.*** Dieses Gesetz ist unter dem Namen des elektrolytischen oder des Gesetzes der constanten elektrolytischen Action bekannt.

Aus Faraday's Versuchen geht hervor, dass folgende Elemente Jonen sind: Sauerstoff, Chlor, Brom, Fluor, Schwefel, Selen; diese Grundstoffe sind Anionen gegen die folgenden: Wasserstoff, Kalium, Natrium, Calcium, Zink, Zinn, Blei, Eisen, Kupfer, Kobalt und die meisten übrigen Metalle. Von Kohle, Aluminium, Stickstoff, Silicium und Bor ist noch nicht genau ermittelt, ob sie in der That Jonen sind.

Es ist hierbei eine, allerdings mehr in das Gebiet der Chemie gehörende. Thatsache zu erwähnen, welche durch das elektrolytische Gesetz den bündigsten Beweis erhält. Bekanntlich nehmen die meisten Chemiker an, dass ein Säurehydrat, wie z. B. Schwefelsäure, aus $SO_3 + HO$, und ein Salz, z. B. schwefelsaures Natron, aus $SO_3 + NaO$ bestehe. Davy aber stellte, um die Constitution der Sauerstoffsäuren wie der Schwefelsäure mit der Wasserstoffsäuren in Einklang zu bringen, die Theorie auf, alle sogenannten Sauerstoffsäuren seien wie die Wasserstoffsäuren constituirt, und die Schwefelsäure z. B. die Verbindung des elektronegativen Radicals SO_4 mit Wasserstoff. Liebig verallgemeinerte diese Theorie. Die Elektrolyse beweist ihre Richtigkeit. Bei dem oben angeführten Versuche der Zersetzung des schwefelsauren Natrons durch den elektrischen Strom findet zugleich Entwickelung von Wasserstoff statt, dessen Menge einem Aequivalent des zersetzten Salzes entspricht. Wollte man annehmen, dass die Gasentwickelung von einer Wasserzersetzung herrühre und dass derselbe Strom zugleich auch das Salz in Alkali und Säure zerlegt habe, so müsste der Gesammtbetrag der Zersetzung noch einmal so viel betragen, als sein Aequivalent an durchgegangener Elektricität. Bestimmt man aber die Menge dieser Elektricität vermittelst des weiter unten zu beschreibenden Voltameters, so findet man, dass das Volumen des durch denselben Strom entwickelten Wasserstoffs dem bei der Zersetzung der Auflösung des Salzes freigewordenen gleich ist. Es ist daher keine andere Erklärungsweise zulässig, als die, dass beide Zersetzungen secundärer Art waren, während die primäre darin bestanden hat, das Salz in Natrium und in das Radical SO_4 zu zersetzen.

Das elektrolytische Gesetz führt zu einem sehr bequemen Mittel, die durch einen Körper ziehende Elektricitätsmenge zu ermitteln. Die Ausführung desselben erfolgt weiter unten.

Der Vorgang bei der Elektrolyse lässt sich auf folgende Weise erklären. Es ist bekannt, dass ungleichartige Körper bei ihrer Berührung entgegengesetzt elektrisch werden, dieser Zustand dauert aber nur so lange als die Berührung, und es ist derselbe nicht durch die Grössenverhältnisse, sondern durch die chemische Beschaffenheit der Körper bedingt. Man kann deshalb annehmen, dass auch die ungleichartigen Atome, aus denen wir uns alle Körper bestehend denken, im entgegengesetzt elektrischen Zustande sich befinden. Betrachtet man als Beispiel das Wasser, in welchem ein Atom Sauerstoff neben einem Atome Wasserstoff gelagert gedacht wird, so muss nach der Seite 246 angeführten Spannungsreihe jedes Sauerstoffatom negativ, jedes Wasserstoffatom positiv

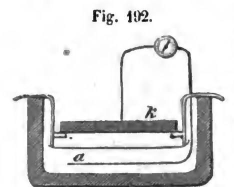
elektrisch sein. Unter dem Einflusse des elektrischen Stromes werden nun die Wasseratome von den als Elektroden dienenden Platinplatten angezogen und werden sich in Folge ihrer grossen Beweglichkeit so lagern, dass alle Sauerstoffatome gegen die positive, alle Wasserstoffatome gegen die negative Elektrode hingezogen werden. Diese Anziehung äussert sich zuerst dadurch, dass die Elemente eines jeden Wasseratomes sich so lagern, dass der Sauerstoff sich nach der positiven, der Wasserstoff nach der negativen Platte hinwendet; darauf wird der Sauerstoff des ersten Wasseratoms an der positiven Elektrode, der Wasserstoff des letzten Wasseratomes an der negativen Elektrode ausgeschieden Darauf tritt der Wasserstoff vom ersten Atom mit dem Sauerstoff des zweiten Atomes in Verbindung u. s. w. und die neugebildeten Wasseratome drehen sich gewissermassen so, dass alle Sauerstoffatome wieder wie vorher sich nach der positiven Elektrode, und alle Wasserstoffatome nach der negativen Elektrode wenden. Darauf scheidet sich wieder Wasserstoff und Sauerstoff an beiden Platten ab u. s. f. Es findet demnach auf der ganzen Strecke zwischen beiden Platten fortwährend Polarisation, Wasserzersetzung und Wasserbildung statt. Nach dieser Vorstellungsweise, welche die Elektrolyse genügend erklärt, ist Leitung der Elektricität durch eine zersetzbare Flüssigkeit nichts anderes als eine Uebertragung der ursprünglich in jedem Atom der Verbindung enthaltenen Elektricitätsmenge von Atom zu Atome, daraus erlangt man die Ueberzeugung, dass die Menge der fortgeleiteten Elektricität gleichen Schritt halten müssen mit der Quantität der Zersetzung.

Anwendung der chemischen Wirkungen des galvanischen Stromes. Wie angeführt worden ist, giebt Kupfervitriol, bestehend aus Kupferoxyd (CuO) und Schwefelsäure (SO_3), an der Anode Sauerstoffgas und an der Kathode metallisches Kupfer. Diese Abscheidung lässt sich erklären, wenn man annimmt, dass der Kupfervitriol in Schwefelsäure und Kupferoxyd, das Wasser der Lösung in Sauerstoff und Wasserstoff zersetzt werde. Der Sauerstoff des Wassers scheidet sich an der Anode (am positiven Pole) ab, dasselbe geschieht mit der Schwefelsäure; der Wasserstoff des Wassers begiebt sich an die Kathode, ebenso das Kupferoxyd des Kupfervitriols; dabei verbindet sich der Wasserstoff mit dem Sauerstoff des Kupferoxydes zu Wasser und das Kupfer wird an der Kathode metallisch abgeschieden. Wird die Kupferlösung durch einen nicht zu stark wirkenden elektrischen Strom zersetzt, so lagert sich das Kupfer in cohärenter Form ab. Der an der Anode freigewordene Sauerstoff verbindet sich mit dem daselbst

befindlichen, als Leiter dienenden Zink zu Zinkoxyd, welches sich mit der Sckwefelsäure zu Zinkvitriol verbindet. Das elektrolytische Gesetz lehrt, dass für jedes Aequivalent Kupfer, das gefällt wird, ein Aequivalent Zink sich auflöst. Wendet man anstatt der Lösung von Kupfervitriol passende Lösungen von Silber, Gold, Platin und andere Metale oder einige Metalloxyde an, so werden an der Kathode diese Metalle ebenfalls in cohärenter Gestalt abgeschieden. Auf die chemische Zersetzung durch den galvanischen Strom gründen sich in wissenschaftlicher und technischer Beziehung so überaus wichtige Methoden, Gegenstände in Metall abzuformen, zu vergolden, zu versilbern, zu verplatiniren, zu bronziren, mit Farben zu überziehen, andere Metalle zu ätzen u. s. w.

Die Galvanoplastik. Das durch den Wasserstoff reducirte Kupfer lagert sich, wie erwähnt, an der Kathode in zusammenhängender Gestalt ab. Durch fortgesetzte Operation kann man das Kupfer zu einer solcher Dicke anwachsen lassen, dass dasselbe von den Rändern der Form, auf welcher die Abscheidung geschah, losgetrennt werden kann und einen Abdruck der Form darstellt. Auf diesem Umstande beruht die Galvanoplastik. Der Abdruck enthält alle Verschiedenheiten der Oberfläche des Originals im verkehrten Sinne, wie dies bei dem Abdrucke eines Petschaftes im Siegellack stattfindet. Das Modell, auf welchem die Ablagerung vor sich gehen soll, darf aus keinem Metalle bestehen, das von der Kupfervitriollösung angegriffen wird, namentlich nicht aus Eisen, Zinn oder Zink. Am häufigsten benutzt man Kupfer, das auf nassem Wege mit einer dünnen Schicht Silber überzogen ist. Das am positiven Pole befindliche Zink wird amalgamirt. Um Kupferplatten auf galvanischem Wege zu erzeugen, benutzt man den Fig. 192 abgebildeten Apparat. In einem hölzernen Trog, der mit einer Harzmasse ausgegossen ist, befindet sich am Boden die glatte oder gravirte Platte *a*, auf welcher sich das Kupfer ablagern soll. Ueber derselben ist ein Holzrahmen angebracht, der an seiner unteren Seite mit einer Blase, mit Pergament oder mit einer porösen Thonplatte versehen ist. Unmittelbar über diesen Rahmen befindet sich die Zinkplatte *k*, die vermittelst eines Bleistreifens mit der Kupferplatte verbunden ist. In den Trog kommt eine möglichst concentrirte Lösung von Kupfervitriol, die man dadurch concentrirt erhält, dass man in ein Sieb, dass sich in der oberen Schicht der Flüssigkeit

Fig. 192.



befindet, Kupfervitriolkrystalle bringt, die sich in dem Masse lösen, als Kupfer auf der Platte niedergeschlagen wird. In dem inneren Theil des Rahmens befindet sich eine concentrirte Lösung von Zinkvitriol.

Um Medaillen, Siegel und überhaupt kleine Gegenstände zu vervielfältigen, benutzt man einige Elemente einer schwachen galvanischen Batterie, und nimmt die Zersetzung der Kupfervitriollösung in einem besonderen Gefässe, der Zersetzungszelle, vor. An der Kathode befestigt man die Platte, auf welcher der Niederschlag erfolgen soll, in verticaler Stellung, und ihr gegenüber die Platte, welche das Material zu der neuen Platte liefern soll. In dem Verhältnisse, als sich Metall an der Kathode niederschlägt, löst sich Metall an der Anode, sodass die Flüssigkeit immer gleichmässig concentrirt ist. Nichtleitende Substanzen, die man galvanoplatisch nachbilden will, macht man auf der Oberfläche durch Graphit oder Hammerschlagpulver leitend, so lässt sich auf diese Weise Kupfer auf Gyps oder Stearinsäure niederschlagen.

Es geht aus den über Galvanoplastik gemachten Erfahrungen hervor, dass das Kupfer nur dann im cohärenten regulinischen Zustande gefällt wird, wenn die Kupfervitriollösung in ziemlich concentrirter Form angewendet wird und der elektrische Strom gerade ausreichend ist, die Kupfervitriollösung, nicht aber auch das Wasser zu zersetzen. Wird an der Kathode ausser dem metallischen Kupfer auch noch Wasserstoff abgeschieden, so erhält man das Kupfer nicht cohärent, sondern in Form eines braunen Pulvers. Ist die Entwickelung des Wasserstoffs zu heftig, folglich der Strom zu stark, so vermindert man das Volumen der Anode, oder vergrössert das der Kathode, oder erwärmt die Lösung, oder setzt zu derselben noch Kupfervitriol, oder rückt die beiden Elektroden einander näher; ist der Strom verhältnissmässig zu schwach, so verfährt man umgekehrt. Um womöglich stets eine gleiche Stromstärke zu haben, ist es nöthig, dieselbe in jedem Augenblicke zu kennen und jede Zu- oder Abnahme derselben wahrzunehmen. Zu diesem Zwecke benutzt man das Galvanometer, welches bei den magnetischen Wirkungen des galvanischen Stromes beschrieben werden wird. — Die Galvanoplastik findet die ausgedehnteste Anwendung zur Darstellung von kupfernen Matrizen für einzelne Lettern odrr Stereotypplatten (Elektrotypie), zum Vervielfältigen von Holzschnitten, anstatt des Abklatschens (Glyphographie), und zur Vervielfältigung von Zeichnungen oder eines Gemäldes durch Kupferdruck (Galvanographie). Noch kann man die Folgen nicht übersehen, welche die Erfindung der Galvanoplastik auf das industrielle Leben haben wird. Wenn man aus dem, was in den zehn bis eilf Jahren, seit denen diese Kunst existirt, einen Schluss machen dürfte auf das, was darin noch geschehen wird, so wäre man zu grossen Hoffnungen berechtigt.

Auf dieselbe Weise, wie das Kupfer, können auch andere Metalle aus einer passenden Lösung an der Kathode niedergeschlagen werden, so Gold, Silber, Platin u. s. w.

Um Gegenstände von Kupfer, Bronze, Messing auf galvanischem Wege zu vergolden oder zu versilbern muss die Oberfläche derselben vollkommen gereinigt sein. Zur Vergoldung wie zur Versilberung bedient man sich allge-

mein der galvanischen Batterie mit einer Zersetzungszelle. Als Zersetzungsflüssigkeit benutzt man die Verbindungen des Cyankaliums mit Gold oder Silber. Die zu vergoldenden oder zu versilbernden Gegenstände werden in die Zersetzungszelle vermittelst eines Drahtes eingehängt, der mit dem positiven Pole der Batterie in Verbindung steht. Ein zweiter Draht ist mit dem negativen Pole der Batterie verbunden, der in der Zersetzungszelle in ein Platinblech endet. Der Process der galvanischen Vergoldung oder Versilberung dauert nur einige Minuten, deshalb hängt man die Anode nicht ein, sondern bewegt dieselbe mit der Hand hin und her, damit die Vergoldung gleichmässig ausfalle. Anstatt der Anode aus Platin wendet man auch Bleche von Gold und Silber an, die von dem sich ausscheidenden Cyan nach und nach aufgelöst werden; dadurch wird bezweckt, dass die Lösung stets dieselbe Concentration beibehält. Auf ähnliche Weise verfährt man durch Anwendung geeigneter Flüssigkeiten beim Verzinnen, Verzinken, Verbleien und Bronziren. Das galvanische Verzinken wird namentlich beim Eisen benutzt, um dasselbe gegen das Rosten zu schützen; das mit einer Zinkhaut überzogene Eisen führt den Namen galvanisirtes Eisen.

Das in der neueren Zeit mit grossem Erfolge angewendete galvanische Aetzen gründet sich auf die Thatsache, dass unter gewissen Bedingungen die an den Elektroden ausgeschiedenen Stoffe sich mit denselben chemisch verbinden. Erfolgt in der That eine Verbindung, so wird die Elektrode nach und nach zerstört. Regulirt man dieses Zerstören dergestalt, dass die Elektrodenplatte bis auf gewisse freigelassene Stellen mit einer Substanz überzogen wird, welche für den an der Elektrode ausgeschiedenen Körper unzerstörbar ist, so hat man alle Bedingungen zum Aetzen. Eben so interessant sind die schönen, regenbogenartigen Farben, die sich auf polirten metallischen Oberflächen dadurch erhalten lassen, dass man die Lösungen gewisser Metallsalze durch den elektrischen Strom zersetzt. Wenn man eine polirte Silber- oder Platinplatte, auf welcher sich die Lösung eines Metallsalzes, wie z. B. des Bleizuckers, befindet, mit dem Pole einer Batterie durch einen Draht in Verbindung setzt und das Ende des anderen Poldrahtes der Platte gegenüber hält, so lagern sich die ausgeschiedenen Metalltheilchen in Gestalt verschiedenartig gefärbter, concentrischer Ringe auf der Platte ab. Diese Ringe wurden zuerst von Nobili beobachtet. Becquerel hat dieser elektrochemischen Färbung eine grosse Ausdehnung und eine solche Vollkommenheit gegeben, dass sie, namentlich in der Methode, Metalle mit Metalloxyden zu überziehen, bereits in die Industrie übergegangen ist. Becquerel nannte dieses neue Verfahren Metallochromie. Die dadurch hervorgebrachten Farben gehören in die Kategorie der Farben dünner Schichten, zu denen auch Newton's Farbenringe gezählt

werden. Die Metallochromie gründet sich hauptsächlich darauf, dass auch zusammengesetze Körper die Eigenschaft haben, in cohärenten Massen auf galvanischem Wege niedergeschlagen zu werden. Diese Eigenschaft kommt besonders dem Bleioxyde zu, welches sich aus seiner Lösung in Aetzkali als Superoxyd ausscheidet, indem zugleich das Wasser zerlegt wird und der an der Anode erscheinende Sauerstoff sich mit dem Bleioxyd zu Superoxyd verbindet.

Passivität. Aus dem Vorstehenden folgt deutlich, dass der elektrische Strom die chemische Verwandtschaft aufzuheben vermag; ebenso ist derselbe aber auch im Stande, die gewöhnliche gegenseitige Action der Körper durch eine Veränderung in ihren elektrischen Verhältnissen zu modificiren. Dies läst sich am besten an gewissen Metallen beobachten, welche unter den gewöhnlichen Bedingungen von einer Säure angegriffen werden, sich aber gänzlich indifferent gegen diese Säure verhalten, wenn sie durch Berührung mit Zink oder durch die Berührung mit der Kathode einer Batterie elektronegativ geworden sind. Zu denselben Erscheinungen muss man das merkwürdige Phänomen rechnen, welches man die Passivität der Metalle nennt. Diese Passivität äussert sich dadurch, dass einige Metalle unter gewissen Verhältnissen, namentlich durch Eintauchen in concentrirte Salpetersäure, entweder dauernd oder vorübergehend nicht mehr angegriffen werden. Am ausführlichsten ist das passive Verhalten beim Eisen studirt worden. Reines Schmiedeeisen kann, nach Schönbein, passiv werden (die Versuche wurden mit einem Stück Stricknadel angestellt, dass sich unter den gewöhnlichen Umständen in Salpetersäure von 1,30—1,35 spec. Gew. auflöste): 1) durch oberflächliche Oxydation des einen Endes der Nadel, indem man dasselbe einige Secunden lang in eine Flamme hält und sie nach dem Erkalten allmählich, mit dem oxydirten Ende voran, in die Salpetersäure taucht; 2) durch ein- oder zweimaliges Eintauchen des einen Endes des Drahtes in concentrirte Salpetersäure und Abwaschen mit Wasser; 3) durch Einstellen eines Platindrahtes in die Säure und Hineinbringen des Eisendrahtes auf die Weise, dass sich derselbe in Berührung mit jenem befindet, welcher darauf herausgenommen werden kann; 4) dadurch, dass man einen neuen Eisendraht auf gleiche Weise in Berührung mit einem schon porösen Draht in die Säure bringt; 5) dadurch, dass man den Draht zum positiven Pole einer Volta'schen Säule macht und ihn in die Säure bringt, nachdem der negative Pol in dieselbe gebracht worden ist. Es entweicht dann Sauerstoffgas von der Oberfläche des Eisendrahtes, ohne dass sich derselbe mit dem Eisen verbindet,

gerade so, als wenn der Draht aus Platin bestünde. Diese Indifferenz gegen chemische Action, welche das Eisen im passiven Zustande zeigt, beschränkt sich nicht auf Salpetersäure, sondern erstreckt sich auch noch auf andere Flüssigkeiten, wie Lösungen der Alkalien, Kalkwasser, Lösungen von Chromsäure, Jodsäure, Chlorsäure, Wasserstoffsuperoxyd u. s. w. Eine ähnliche Indifferenz gegen Salpetersäure können ausser Eisen auch andere Metalle, besonders Wismuth, aber in schwächeren Grade zeigen.

Ein Metall, welches an und für sich in einer Säure oder in einer andern Flüssigkeit aufgelöst wird, kann dadurch, dass man es zum positiven Pole einer Kette macht, vor dem chemischen Einflusse geschützt werden. Eisen, Silber, Kupfer, Blei und andere Metalle werden von verdünnter Salpetersäure gelöst, bringt man sie aber mit Zink in Berührnng, so werden sie nicht im geringsten angegriffen, dagegen löst sich Zink auf und der Wasserstoff scheidet sich an den Metallen ab.

Wismuth wird in Salpetersäure von 1,5 spec. Gew. sogleich passiv; in Säure von 1,4 spec. Gew. löst es sich sogleich unter heftiger Entwickelung von salpetrigsauren Dämpfen auf, so wie dasselbe aber mit Platin berührt wird, verhält es sich unlöslich, und nach dem Entfernen des Platins bald activ, bald passiv. Eisen und Kupfer werden durch Meerwasser bedeutend angegriffen; bringt man sie aber an einzelnen Stellen mit Zink in Berührung, so wird letzteres gelöst, ersteres aber bleibt unverändert. Hierauf beruht der Vorschlag von Davy, die kupfernen Beschläge der Schiffe durch Zinkplatten, welche mit ihnen zusammengelöthet sind, vor der Zerstörung des Seewassers zu schützen. Ein Stück Zink von der Grösse des Knopfes eines kleinen Nagels soll hinreichend sein, um 40—50 Quadratzoll Kupfer zu schützen. Kupfer, das mit Eisen in Berührung ist, wird von Meerwasser fast gar nicht angegriffen, während sich nur das Eisen löst. Es ist nach der Erfahrung zweckmässiger, den Kupferbeschlag der Schiffe anstatt mit Zink, an einigen Stellen mit Gusseisen zu verbinden, welche man Protectoren nennt. Ein ähnliches Mittel wird benutzt, um die eisernen Siedepfannen in den Salinen vor der Zerstörung zu bewahren. Die Ecken der Pfannen werden durch ein Brett abgeschnitten und die dadurch entstandenen Zwischenräume mit Zink ausgegossen. Die Flüssigkeit sickert dann in hinlänglicher Menge durch das Holz zum Zink, um die Kette zu schliessen. Eiserne Pfannen sollen dadurch schon gegen die Zerstörung durch Rost geschützt werden, dass man an die äussere Wand lange Zinkstreifen annagelt.

4. Magnetische Wirkungen des elektrischen Stromes. Die bisher betrachteten Wirkungen (die optischen und thermischen, die physiologischen und die chemischen) werden nur in denjenigen Körpern ausgeübt, welche von dem elektrischen Strome unmittelbar getroffen werden. Der elektrische Strom kann aber auch in einer gewissen Entfernung wirken. Die elektrische Strömung ertheilt nämlich den Körpern, in welchen sie stattfindet, gewisser-

massen magnetische Kraft, nämlich die Fähigkeit, auf einen Magnet bewegend einzuwirken, so dass leicht bewegliche Magnetnadeln durch einen in der Nähe befindlichen Schliessungsdraht einer hinlänglich starken galvanischen Kette aus ihrer Ruhelage abgelenkt werden, und erst nach dem Oeffnen der Kette oder nach genügender Entfernung des Schliessungsdrahtes wieder dahin zurückkehren. Die elektrische Strömung ertheilt ferner den Körpern die Eigenschaft, auch von einem Magneten afficirt zu werden. Die folgenreiche Entdeckung, dass die Magnetnadel durch elektrische Strömung abgelenkt werde, wurde 1820 von Oerstedt in Kopenhagen gemacht. Um den Versuch anzustellen, führe man den Schliessungsdraht der Kette in der Richtung des magnetischen Meridians in der Nähe einer freischwebenden Magnetnadel vorüber. Die Ablenkung geschieht nach folgendem Hauptgesetze: ***Der Nordpol der Magnetnadel wird stets gegen die linke Hand einer menschlichen Figur abgelenkt, wenn man sich in den Draht so hineingelegt denkt, dass der Strom von den Füssen zum Kopfe geht, und dass das Gesicht der Magnetnadel zugekehrt sei.*** Dadurch ist man in den Stand gesetzt, wenn man die Richtung des elektrischen Stromes kennt, die Richtung der Magnetnadel vorauszusagen. Die Richtung, in welcher die Magnetnadel durch einen Strom abgelenkt wird, dient umgekehrt zur Bestimmung der Stromrichtung. Der Strom zeigt das Bestreben, der Magnetnadel eine auf seiner Richtung senkrechte Stellung zu geben; die Ausführung wird aber durch die Richtkraft des Erdmagnetismus verhindert. Denn, richtet man den Draht senkrecht gegen die ursprüngliche Gleichgewichtslage der Nadel und leitet den Strom dergestalt durch ihn, dass der Nordpol links gegen die Richtung des Stromes steht, so ist keine Ablenkung zu bemerken. Ist die Nadel astatisch, mithin der Richtkraft des Erdmagnetismus nicht unterworfen, so zeigt sich ebenfalls das Bestreben des Stromes, die Nadel senkrecht gegen seine Richtung zu stellen.

Ein elektrischer Strom, dessen Einfluss auf den einen Pol eines Magneten jenen auf den andern Pol überwiegt, ertheilt einem frei beweglichen Magneten eine rotirende Richtung um den Stromleiter herum; es lässt sich dies durch folgenden Versuch beweisen. Verbindet man einen bis zur Quecksilberfläche fortgesetzten verticalen Draht mit dem einen, und die Grenze des Quecksilbers mit dem andern Leitungsdrahte einer Kette, und bringt man auf die Oberfläche des Quecksilbers ein Magnetstäbchen, so läuft der Magnet

um den Leitungsdraht herum. Construirt man das Magnetstäbchen dergestalt, dass es sich nur um seine Längenaxe drehen kann, umgiebt es bis zur Hälfte mit Quecksilber und leitet einen elektrischen Strom durch den oberen Theil des Magneten und durch das umgebende Quecksilber, so beginnt der Magnetstab sogleich zu rotiren. Lässt man umgekehrt einen leicht beweglichen Draht auf eine Quecksilberfläche herabhängen, welche einen Pol eines nicht beweglichen Magnetstabes umgiebt, und leitet man den Strom durch den Draht und das Quecksilber, so rotirt der Draht ebenfalls um den Pol des Magneten.

Auf das oben Erwähnte gründet sich das Barlow'sche Rädchen. An einem gabelförmig ausgeschnittenen Poldrahte befindet sich ein sternförmiges Rädchen angebracht, dessen Spitzen in ein Gefäss mit Quecksilber herabreichen. Bringt man dieses Rädchen in die Richtung des magnetischen Meridians, und lässt darauf einen elektrischen Strom durch das System gehen, so erfolgt ein ausserordentlich schnelles Drehen des Rädchens, wenn zu beiden Seiten desselben die Pole eines Hufeisenmagneten angebracht sind. Durch einen Wechsel der Pole oder durch Umkehren der Stromrichtung wird auch die Bewegung des Rädchens umgekehrt. Wenn der Strom aus dem Quecksilber des Gefässes durch die Radspeichen aufwärts geht, so bewegt sich der untere Theil des Rädchens, vom Südpol des Magneten aus betrachtet, gegen die Rechte. Geht hingegen der Strom abwärts durch die Radspeichen in das Quecksilber, so geht die Bewegung im umgekehrten Sinne vor sich. Auch in flüssigen Leitern lässt sich durch den elektrischen Strom eine Bewegung hervorbringen. Nach Schweigger lässt sich dies nachweisen, indem man einen Magnet auf den Tisch legt, auf einen seiner Pole ein flaches Uhrglas stellt, das etwas Salpetersäure enthält und einen Zink- und einen Platindraht mit ihrem einen Ende in diese Säure taucht, während die beiden Enden mit einander in Verbindung stehen. Die dadurch erzeugte elektrische Strömung geht durch die Flüssigkeit in der Richtung vom Zink zum Platin, und die dadurch elektrisch gewordene Flüssigkeit dreht sich durch die Einwirkung des unten befindlichen Magneten um den einen Draht rechts, um den andern links. Die Richtung dieser Bewegung geht in die entgegengesetzte über, wenn man das Uhrglas auf den andern Pol des Magneten setzt. Nach Fechner verfährt man, indem man eine Kupferschale, deren Boden in der Mitte etwas aufwärts gedrückt ist, auf den Pol eines vertical stehenden Magneten stellt, auf den in die Höhe gedrückten Theil der Kupferschale einen Zinkring legt und die so entstandene ein-

fache Kette durch eine Salmiaklösung schliesst, die mit etwas Salzsäure angesäuert worden ist. So wie der Strom durch die Flüssigkeit geht, beginnt die Flüssigkeit sich zu drehen, und diese wird besonders am Zinkringe so lebhaft, dass in die Flüssigkeit gebrachte Papierstückchen mit fortgerissen werden.

Ein elektrischer Strom, der oberhalb der Magnetnadel von Norden nach Süden geht, erzeugt dieselbe Ablenkung der Nadel, als wenn der Strom unterhalb der Nadel von Süden nach Norden ginge. Ebenso ist die Einwirkung eines Drahtes oberhalb der Nadel, in welchem der Strom von Süden nach Norden geht, gleich der Einwirkung eines Drahtes unterhalb, in welchem die Elektricität von Norden nach Süden strömt. Die durch die beiden letzten Drähte hervorgebrachte Ablenkung der Nadel ist aber die umgekehrte von derjenigen, welche durch die beiden ersten Drähte bewirkt worden ist. Schweigger, und nach ihm Poggendorf, benutzten die Uebereinstimmung zweier Drähte oberhalb und unterhalb der Nadel, in welchen der Strom die umgekehrte Richtung hat, zur Construction des elektromagnetischen Multiplicators oder des Galvanometers, das zur Auffindung der schwächsten elektrischen Ströme und zur Messung der Stromstärke dient. Es wird zugleich mit den andern zu demselben Zwecke dienenden Instrumenten beschrieben werden.

Die magnetisirende Wirkung des elektrischen Stromes. Der Schliessungsdraht einer Volta'schen Kette wirkt nicht nur in sofern magnetisch, als er auf bereits geweckten Magnetismus einzuwirken vermag und die Magnetnadel ablenkt, sondern er ist auch im Stande, in Körpern, die des Magnetismus fähig sind, denselben hervorzurufen und Stahl und Eisen magnetisch zu machen. Wenn man einen Draht, durch welchen ein starker elektrischer Strom geht, mit Eisenfeile in Berührung bringt, so bleibt diese so lange an dem Drahte hängen, als derselbe von der Elektricität durchströmt wird. Führt man den Draht an einem Stabe aus Stahl oder weichem Eisen, und zwar in einer Richtung vorbei, die gegen den Stab senkrecht ist, so wird der Stab magnetisch. Der Stab aus Stahl behält seinen Magnetismus bei, auch wenn der elektrische Strom aufgehört hat; der Stab aus weichem Eisen aber nicht, d. h. mit dem Aufhören des Stromes verschwindet auch der Magnetismus aus dem weichen Eisen. Diese magnetisirten Körper erhalten ihre Pole da, wo sie liegen müssten, wenn sie magnetisch gewesen wären und ihre Lage in Folge der Stromwirkung angenommen hätten. Bei einer senkrecht gegen den Strom befindlichen Stahlnadel liegt daher das Nordende links, das

Südende rechts. Ein in einer vom elektrischen Strom durchströmten Drahtspirale liegender Stab aus Stahl oder weichem Eisen erhält sein Nordende da, wo der Strom ein- oder austritt, je nachdem sie rechts oder links gewunden sind. Das Magnetischwerden von Stahlnadeln findet auf dieselbe Weise statt, wenn man eine Leidner Flasche durch die Spirale entladet.

Weiches Eisen nimmt durch den elektrischen Strom einen sehr bedeutenden Magnetismus an. Man nennt solche auf diese Weise dargestellte Magnete Elektromagnete, und weil sie nur so lange dauern, als der elektrische Strom wirkt, temporäre Magnete. Man verfertigt dieselben, indem man einem cylindrischen Stabe aus weichem Eisen die Gestalt eines Hufeisens giebt und denselben mit dickem Kupferdraht, der mit Seide übersponnen ist, nach derselben Richtung umwickelt. Fig. 193 macht die Art und Weise der Umwickelung anschaulich. Das Umwickeln mit Seide hat den Zweck, den elektrischen Strom zu verhindern, nicht aus einer Windung in die andere, oder aus den Windungen in das Eisen überzutreten, sondern seinen Weg längs des Drahtes fortzusetzen. Ist das Hufeisen auf die Weise, wie Fig. 194 zeigt, mit Draht umwickelt, so ist es nicht nothwendig, den Draht mit Seide zu überziehen, wohl aber muss man das Hufeisen mit Seide überspinnen und die Seide darauf ausserdem noch mit einer weingeistigen Lösung von Schellack überziehen. An den Enden des Drahtes sind Schälchen gelöthet, die man mit Quecksilber füllt, um sie mit den Polen einer hinreichend kräftigen elektrischen Kette vereinigen zu können. Auf diese Weise kann man Elektromagnete darstellen, die mittelst eines an seine Schenkelflächen sich schmiegenden Ankers aus weichem Eisen mehr als zwei Tausend Pfund zu tragen im Stande sind. Obgleich die Tragkraft der beiden Pole eines solchen Magneten sehr bedeutend ist, wenn beide Pole durch einen Anker vereinigt sind, so trägt doch jeder einzelne Pol verhältnissmässig nur eine sehr geringe Last. Die gegenseitige Einwirkung der Pole und des Ankers ist demnach auf die Tragkraft von wesentlichem Einflusse. Wie schon angegeben, dauert der Magne-

Fig. 193.

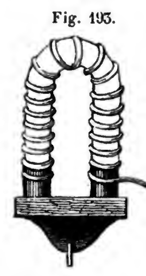
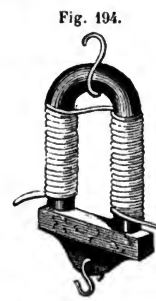


Fig. 194.



tismus des weichen Eisens nur so lange, als der elektrische Strom durch den Kupferdraht fliesst. Eigenthümlich ist es jedoch hierbei, dass ein Hufeisen aus weichem Eisen, wenn dasselbe mit einem Anker versehen wird, nach dem Aufhören des Stromes noch einen Theil seines Magnetismus behält, so lange der Anker anliegend bleibt, und ihn aber dann auch sogleich nach dem Abreissen des Ankers fast vollständig verliert. Bei der Bildung der Elektromagneten ist von Kessler-Gondard eine interessante Beobachtung gemacht worden. Wenn die Kette geschlossen oder wieder geöffnet wurde, vernahm derselbe ein Tönen, das vom Eisen ausging und mit der Stärke der Kette ab- und zunahm. Von andern Physikern wurde ebenfalls ein Tönen wahrgenommen, wenn die Polarität der Magnete vorübergehend gestört wurde. Page gab einem langen Kupferdraht, der mit Baumwolle überzogen war, die Gestalt einer Spirale von vierzig Windungen, befestigte sie vertical und verband ihre Enden mit den Polen einer Kette. Darauf schob er einen Hufeisenmagnet dergestalt über die Spirale, dass sich dieselbe um den Schenkel des Magneten befand. So oft der Strom durch die Spirale strömte, so oft entwickelte sich aus dem Magneten ein Ton, dessen Höhe von der Stärke des ersteren abhing.

Ein Hufeisen aus weichem Eisen, das 1 Fuss lang und 1½ Zoll dicke Schenkel hat und, wie bei Fig. 192 angegeben wurde, mit Kupferdraht umwickelt worden ist, wird durch ein einziges Grove'sches Element zu einem Magnete, der 100 — 150 Pfund zu tragen im Stande ist.

Die Eigenschaft des elektrischen Stromes, zu magnetisiren, ist nur von seiner Quantität abhängig; man wendet deshalb vorzugsweise die Kohlenzink- oder die Platinzinkbatterie an. Beabsichtigt man grössere Effecte hervorzubringen, so muss man den Strom durch dicke Drähte um das Eisen herumführen. Es lassen sich jedoch mit Strömen von geringer Quantität aber grösserer Intensität grössere Effecte erzielen, wenn man die Drahtwindungen vermehrt und durch öfteres Herumleiten des Stromes um das Eisen ersetzt, was dem Strome an Quantität gebricht.

Um die Pole eines Elektomagneten zu bestimmen, kann man als Regel annehmen, dass in einer rechts gewundenen Drahtspirale die dem Eintritt des Stromes nähere Hälfte den Süd-, die andere den Nordpol enthält; in einer links gewundenen Spirale findet das Gegentheil statt. Ein von zwei gleichgewickelten Spiralen umgebener Stab bleibt unmagnetisch, wenn dieselben an ihren Enden verbunden sind und von demselben Strome in entgegengesetzter Richtung durchströmt werden. Hohle Eisenkerne.

werden durch sie umwickelnde Spiralen stark magnetisirt, durch Spiralen in ihrem Innern fast nicht.

Die Gesetze, nach denen die Stärke des in weichem Eisen erregten Magnetismus von der Natur der einzelnen Elemente, die zu seiner Entwickelung benutzt werden, abhängt, sind von Jacobi und Lenz untersucht worden. Die deshalb angestellten Versuche haben Folgendes festgestellt. 1. Die Stärke des auf diese Weise erzeugten Magnetismus wächst im geraden Verhältnisse mit der Stärke des angewendeten Stromes. Da es also hierbei besonders auf die Quantität des Stromes ankommt, so benutzt man als Kette ein einfaches Plattenpaar von grosser Oberfläche. 2. Die Dicke des Drahtes der Spirale ist bei gleicher Anzahl der Drahtwindungen und der gleichen Stärke des in ihnen circulirenden Stromes völlig gleichgültig. 3. Der Durchmesser der Drahtwindungen ist von keinem Einflusse auf die Stärke des Magnetismus; nur an den Enden des Eisenkernes scheint derselbe einige Bedeutung zu haben, da ein grösserer Durchmesser daselbst den Effect vermindert. 4. Die Totalwirkung sämmtlicher den Eisenkern umgebenden Windungen ist gleich der Summe der Wirkungen aller einzelnen Windungen. 5. Der Magnetismus, welchen Eisenstäbe von gleicher Länge und unter der Einwirkung gleich starker Ströme annehmen, ist proportional ihrem Durchmesser. 6. Die Kräfte, womit zwei Elektromagnete oder ein Elektromagnet und weiches Eisen aus der Ferne einander anziehen, ist bei gleichen Abständen direct proportional den Quadraten der magnetischen Ströme. Ritchie's Versuchen zufolge ist der Magnetismus in hufeisenförmigem weichen Eisen um so stärker und dauernder, je grösser der Bogen des Hufeisens ist.

Der Elektromagnet dient zur schnellen Erzeugung starker Stahlmagnete und man braucht nur zu diesem Behufe mit einem Elektromagnete die betreffenden Stäbe von Stahl nach der Seite 207 angegebenen Streichmethode zu behandeln. Nach Dove legt man, um Stahlnadeln magnetisch zu machen, unter die beiden Pole des Elektromagneten zwei Stücke Eisen und auf diese die Nadel und benutzt dann die Magnetisirmethode des Doppelstriches. Darauf entfernt man die Nadel auf die Weise von den beiden Eisenstücken, dass man die Eisenstücken von der Nadel nach aussen fortschiebt, während die Kette noch geschlossen ist.

Es sei schon hier erwähnt, dass ein Elektromagnet sogleich seine Pole wechselt, sobald die Richtung des elektrischen Stromes, der durch die Drahtspirale strömt, umgekehrt wird. Man hat diese Eigenschaft zur Hervorbringung rotirender Bewegungen benutzt, von welchen weiter unten die Rede sein wird.

Die Eigenschaft des elektrischen Stromes, eine Magnetnadel abzulenken und weiches Eisen temporär magnetisch zu machen, findet in der elektrischen Telegraphie Anwendung. Man benutzt dieselbe ferner ausser zur Anfertigung von permanenten Magneten, zur Ablenkung der Magnetnadel als Galvanometer und zur Construction kräftiger elektromagnetischer Maschinen.

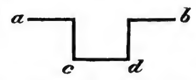
Die chemiche Wirkung des elektrischen Stromes und ihre magnetische Wirksamkeit stehen in einer festen und sehr einfachen Beziehung zu einander. Wenn in einer constanten Kette neben dem Galvanometer zugleich ein Voltameter eingeschaltet wird, um aus den aufgefangenen Gasen die Menge des in einer bestimmten Zeit zersetzten Wassers berechnen zu können, wenn man dann die Ablenkung der Magnetnadel verändert und für jede eingetretene Veränderung die Menge des in einer bestimmten Zeit zersetzten Wassers ermittelt, so macht man die Beobachtung, dass beide Wirkungen stets gleichen Schritt mit einander halten, und dass jede ***Veränderung der magnetisch ablenkenden Kraft von einer proportionalen Wasserzersetzung begleitet ist.*** Hat man daher die einer gewissen Ablenkung der Nadel entsprechende Wasserzersetzung nur einmal untersucht, so lässt sich für jede andere Ablenkung die ihr entsprechende Wasserzersetzung im voraus berechnen.

5. Elektrodynamische Wirkungen des elektrischen Stromes. Diese Wirkungen bestehen in Anziehungen und Abstossungen gegen andere in der Nähe befindliche Ströme. Da die dynamischen Wirkungen elektrischer Ströme auf einander uns nur dadurch sichtbar werden, dass die Leiter, welche von ihnen durchströmt werden, in eine gleichnamige Bewegung gerathen, so braucht man in der Elektrodynamik oft das Wort Leiter statt des Wortes stromdurchflossener Leiter. Ist gleich die Bahn eines elektrischen Stromes stets eine in sich wiederkehrende, so nennt man doch den Strom nur dann geschlossen, wenn alle seine Theile dem Strome, dessen Einfluss betrachtet wird, in der Weise nahe sind, dass der letztere auf dieselben noch eine bemerkbare Wirkung äussern kann. Ein geradliniger Strom heisst nach einer Seite oder nach beiden Seiten hin unbegrenzt, wenn er sich nach einer Seite oder nach beiden Seiten hin so weit ausdehnt, dass die Wirkung seiner äussersten Theile als verschwindend klein betrachtet werden kann. Unter der Stromrichtung versteht man die im Leitungsdraht vom positiven Pole nach dem negativen gehende Richtung.

Ueber die gegenseitige Einwirkung elektrischer Ströme hat Ampère eine Reihe der wichtigsten Thatsachen entdeckt. Dieselben lassen sich in folgende Sätze zusammenfassen.

1. Zwei parallele Ströme ziehen einander an, wenn sie nach gleicher Richtung fliessen und stossen einander ab, wenn sie nach entgegengesetzter Richtung strömen.

Man beweist dies am einfachsten durch zwei in Form



gebogene und neben einander gehängte Drähte, die bei *ab* drehbar sind, bei *cd* sich aber anziehen und abstossen. Daraus folgt ferner, dass ein spiralförmiger Draht, der von einem elektrischen Strome durchflossen wird, sich zusammenzieht, da alle Windungen von gleich gerichteten elektrischen Strömen zusammengezogen werden.

2. Zwei geradlinige Ströme, welche einen Winkel mit einander bilden, ziehen einander an, wenn sie beide nach der Spitze des Winkels oder beide von dieser ab fliessen, hingegen stossen sie einander ab, wenn der eine nach der Spitze hin, der andere von ihr abfliesst.

3. Wenn zwei geradlinige Ströme sich kreuzen, so streben sie so lange, bis sie nach einer Richtung gehen und parallel sind.

4. Die verschiedenen Theilchen eines geradlinigen Stromes stossen einander ab.

Ampère bediente sich des folgenden Versuches, um den letzten Satz zu beweisen. Es wurde ein mit Quecksilber gefülltes Gefäss durch eine aus Nichtleitern bestehende Scheidewand in zwei Theile getheilt, und ein bis an die Enden mit Seide übersponnener Kupferdraht so umgebogen, dass er zwei parallele Arme bildete, die auf das Quecksilber der beiden Abtheilungen parallel mit der Scheidewand gelegt werden. Wenn man nun die Pole einer Kette mit den Drähten verbindet, welche in der Verlängerung jener Arme in die Abtheilungen hineintauchen, so bewegt sich der bewegliche Draht von den Poldrähten zurück gegen das andere Ende des Gefässes hin. Jacobi machte die Bemerkung, dass die Schliessungsdrähte einer sehr starken Kette aus dem Quecksilbernäpfchen, in welche sie tauchten, herausgeworfen wurden, wenn der Strom sein Maximum erreicht hat.

5. Die Wirkung krummliniger Ströme ist eben so gross, als die geradliniger, deren allgemeine Richtung und Länge dieselbe ist.

Wirkungen zweier Ströme aufeinander. 1. Sind zwei Ströme geradlinig, durchläuft der eine einen unbeweglichen, der andere einen um einen festen Punkt beweglichen Leiter, so stellt der letzte sich dem ersten so parallel, dass die Ströme in ihnen einerlei Richtung haben.

2. Durchläuft von zwei geradlinigen Strömen der eine einen festen, der andere einen ihm parallelen, seiner ganzen Länge nach beweglichen Leiter, so wird der letztere von jenem angezogen oder abgestossen, je nachdem die Ströme gleiche oder entgegengesetzte Richtungen haben.

3. Ein beweglicher geradliniger Strom wird von einem festen geschlossenen Strom angezogen oder abgestossen, je nachdem die nächsten Elemente beider Ströme gleiche oder entgegengesetzte Stromrichtung haben.

4. Ein geradliniger Strom wirkt nicht auf einen geradlinigen Leiter in der Richtung seines Stromes.

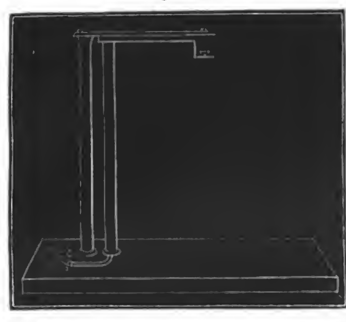
5. Ein beweglicher geschlossener Leiter B nimmt zwischen zwei anderen, gleich intensiven, geschlossenen Strömen A und C, wenn derselbe mit den letzteren nicht in gleicher Ebene liegt, keine Bewegung an, wenn die von den Strömen eingeschlossenen Flächen sich wie $1 : m^2 : m^4$ verhalten, während die Entfernung der Schwerpunkte von A und B und von B und C in dem Verhältnisse $1 : m$ stehen.

6. Zwei nahe, gleich starke, parallele aber entgegengesetzt gerichtete Ströme äussern keine Wirkung nach Aussen.

7. Ein in sehr kleinen Krümmungen so fortlaufender Strom, dass er sich wenig von einer bestimmten geraden oder krummen Linie entfernt, äussert dieselbe Wirkung wie ein Strom, welcher längs dieser geraden oder krummen Linie fortschreitet.

Die Wechselwirkung, welche man zwischen der Magnetnadel und einem von der Elektricität durchströmten Leitungsdrahte wahrnimmt, veranlasst zu der Annahme, dass auch der Erdmagnetismus eine bestimmte Wirkung auf einen solchen Draht ausüben müsse. Man kann dies durch den Versuch bestätigen, wenn man einen in sich selbst geschlossenen Strom hinreichend beweglich macht. Ampère benutzte dazu folgenden Apparat (Fig. 195). Auf einem Brette befinden sich zwei Messingsäulen, von denen jede einen horizontalen Arm trägt, welcher an seinem Ende mit einem Quecksilbernäpfchen versehen ist. Man bringt nun an diesem Schliessungsdrahte einen kreisförmigen Schliessungsdraht so an, dass die eine Stahlspitze desselben auf dem Boden des einen Quecksilbernäpfchens ruht, während die andere nur die

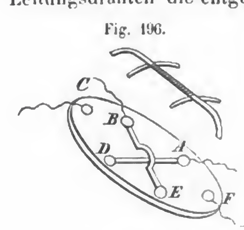
Fig. 195.



Oberfläche des zweiten Quecksilbernäpfchens berührt. Verbindet man nun die Pole einer Kette mit den Füssen der beiden Messingsäulen, so geht der Strom in der einen Säule hinauf und dann von dem einen Quecksilbernäpfchen durch den Kupferdraht zum andern Näpfchen weiter. Nach einigen Schwankungen nimmt der Kreis eine solche Lage an, dass seine Ebene rechtwinklig zum magnetischen Meridiane ist. Wenn man ihn aus dieser Lage entfernt, so kehrt er stets wieder in dieselbe zurück, so lange er von der Elektricität durchflossen wird. Daraus lässt sich schliessen, dass auch ein System paralleler, neben einander stehender Kreise, welche von der Elektricität in derselben Richtung durchströmt werden, durch den Einfluss des Erdmagnetismus dieselbe Lage annimmt.

Bei Versuchen über die in dem Vorstehenden angeführten Wirkungen der elektrischen Ströme und Magnete auf einander ist es oft wünschenswerth, die Richtung des Stromes wechseln zu können, ohne veranlasst zu sein, den zu den Polen der Kette gehenden Leitungsdrähten die entgegengesetzte Anordnung geben zu müssen.

Fig. 196.



Man erreicht dies durch Einschaltung eines G y r o t r o p s oder C o m m u t a t o r s in den Schliessungskreis. Auf einem Brette, welches auf den Fuss des Fig. 195 abgebildeten Apparates gestellt werden kann, befinden sich sechs Höhlungen, welche mit Lack überzogen und mit Quecksilber angefüllt sind. Die Höhlungen EB und AD (Fig. 196) sind durch Kupferstreifen mit einander verbunden, die am Kreuzungspunkte über einander hinweggehen, ohne einander zu berühren. Ist nun F mit der Kupferplatte, C mit der Zinkplatte eines galvanischen Elementes verbunden, während die Enden des Schliessungsdrahtes in A und B sich befinden, so wird der Strom

in diesem von *A* nach *B* gehen, wenn *F* mit *A*, und *C* mit *B* verbunden ist; hingegen von *B* nach *A*, wenn *F* mit *E*, und *C* mit *D* verbunden wird. Um diese Verbindung bequem herstellen und nach Belieben abändern zu können, benutzt man die in Fig. 196 mit abgebildete Wippe, welche aus vier Metallbügeln besteht, welche durch zwei nichtleitende Querstäbe an einem drehbaren hölzernen Stabe befestigt sind. Die abwechselnde Verbindung geschieht, indem diese Wippe, in *F* und *C* fassend, abwechselnd umgelegt wird.

Das Gesetz der Wechselwirkung zweier elektrischer Ströme, das elektrodynamische Grundgesetz, das von Ampère aufgestellt wurde, ist durch neue Untersuchungen von W. Weber bestätigt worden. Er gebrauchte hierzu ein eigenthümliches Messinstrument, welches von ihm Elektrodynamometer genannt wurde. Die beiden galvanischen Leiter, deren Wechselwirkung beobachtet werden soll, bestehen in zwei dünnen, mit Seide übersponnenen Kupferdrähten, welche ringförmig in den äussern Höhlungen zweier cylindrisch geformter Rahmen aufgewunden sind. Der eine dieser Ringe umschliesst einen freien Raum, welcher hinlänglich gross ist, damit der andere darin Platz finden könne. ohne die freie Beweglichkeit zu stören. Strömt nun durch die Drähte beider Ringe ein elektrischer Strom, so übt der eine auf den andern eine Drehung aus, welche am grössten ist, wenn ihre Mittelpunkte zusammenfallen und wenn die beiden Ebenen, denen die Windungen der Ringe parallel sind, einen rechten Winkel bilden. Der gemeinschaftliche Durchmesser beider Ringe ist die Drehungsaxe. Derjenige der beiden Ringe, der sich drehen soll, hängt an zwei langen Verbindungsdrähten, die senkrecht aufwärts zur Decke gehen, wo sie an zwei von einander isolirten messingenen Haken befestigt sind. Zu denselben Haken führen zwei Leitungsdrähte, die mit den Polen eines Elektrometers in Verbindung stehen. Die strömende Elektricität gelangt so zu dem bewegten Ringe, ohne dass dessen Drehung ein Hinderniss im Wege steht. Die Ablenkung des Ringes wird, wie bei dem Bifilarmagnetometer (vergl. Seite 218), aus der Entfernung wahrgenommen. Die bewegliche Rolle trägt zu diesem Behufe einen Spiegel. Damit der Erdmagnetismus auf die Stellung der Rolle keinen Einfluss ausüben könne, wenn sie von einem elektrischen Strome durchflossen wird, muss während der Ruhelage die Axe mit dem magnetischen Meridiane zusammenfallen. Vermittelst dieses Instrumentes gelang es Weber, auf experimentalem Wege die bisher nur hypothetischen Gesetze darzuthun, 1) dass ***die elektrodynamische Kraft der Wechselwirkung zweier Leitungsdrähte, durch***

welche Ströme von gleicher Intensität gehen, dem Quadrate dieser Intensität proportional ist, 2) ***dass für die elektrodynamischen Wirkungen in der Ferne gleiche Gesetze wie für die magnetischen gelten.*** Weber hat das Elektrodynamometer auch zur Messung elektrischer Ströme gebraucht; es besitzt vor dem Galvanometer den grossen Vorzug, dass es auch zur Bestimmung der Intensität entgegengesetzter Ströme mit derselben Sicherheit wie zur Bestimmung eines fortdauernd gleichgerichteten Stromes gebraucht werden kann.

Theorie des Magnetismus nach Ampère. Das gegenseitige Verhalten der Magnete und der elektrischen Ströme sowie alle anderen Erscheinungen des Elektromagnetismus veranlassten Ampère die Hypothese aufzustellen, dass die Polarität der gewöhnlichen Magnete in elektrischen Strömen begründet sei, welche die kleinsten Massentheilchen des Magneten, seine Moleküle, fortwährend umkreisen und in sich selbst zurückkehren. Eine unendlich dünne Magnetnadel ist nach dieser Hypothese ein System unter sich geschlossener, unter sich paralleler Ströme, durch deren Bahnebenen die Nadel senkrecht hindurchgeht, und ein Magnetstab der Inbegriff unendlich vieler derartiger, gleich langer und paralleler Nadeln. Es wird dabei vorausgesetzt, dass je zwei Theilchen paralleler elektrischer Ströme sich anziehen und abstossen; je nachdem die Richtung ihrer Bewegung dieselbe oder die entgegengesetzte ist. Ein jeder dieser Ströme äussert sich nach der linken Seite seiner Richtung wie ein magnetischer Nordpol, nach der rechten Seite hin wie ein magnetischer Südpol. Nach dieser Ansicht besteht das Magnetisiren eines Körpers darin, dass man in demselben solche parallele Ströme weckt, oder die bereits vorhandenen so anordnet, dass sie alle nach einer Richtung hinströmen und mit vereinigten Kräften wirken. Nach Ampère's Theorie hat auch der Erdmagnetismus seinen Grund in elektrischen Strömen, welche dem scheinbaren Laufe der Sonne entgegen, von Westen nach Osten um die Erde kreisen. Die Resultirende dieser Ströme lässt sich durch einen einzigen Strom im magnetischen Aequator vorstellen. Mit Recht ist gegen die Ampère'sche Theorie des Magnetismus eingewendet worden, dass sie die Annahme selbstständiger elektrischer Ströme in einer Weise fordert, welche mit dem gewöhnlichen Verhalten der Leiter der Elektricität nicht in Vereinbarung zu bringen ist, und man kein Fortbestehen eines elektrischen Stromes ohne eine elektromotorische Kraft kennt.

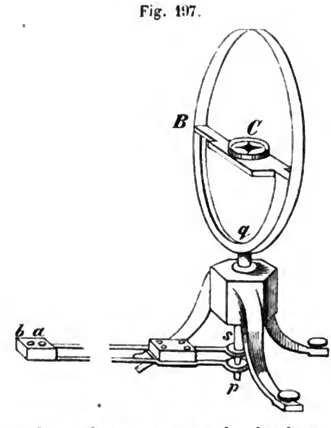
Instrumente, die sich auf die gegenseitige Wirkung

des Magnetismus und der Elektricität gründen. Diese Instrumente haben die Bestimmung, die Anwesenheit elektrischer Ströme, durch ihre Wirkung auf eine Magnetnadel entweder nur anzuzeigen, oder auch die Stärke dieser Ströme zu messen. In diesem Sinne bezeichnet man diese Instrumente mit dem Namen Galvanometer, während man früher allgemein die Bezeichnung Multiplicator oder Rheometer benutzte. Strommessende Vorrichtungen, welche nur die Richtung des Stromes angeben, ohne seine Stärke zu bestimmen, nennt man Galvanoskope. Es folgt nun eine Beschreibung der wichtigsten galvanometrischen Apparate.

Wenn man einen geradlinigen starken Kupferdraht von ungefähr einem Meter Länge, der horizontal längs der Ebene des magnetischen Meridians einer kleinen horizontal schwingenden Magnetnadel gerichtet ist, einen elektrischen Strom von beständiger Stärke leitet, so wird die Nadel aus ihrem Meridiane abgelenkt. Die magnetische Kraft des Stromes wirkt auf die Pole der Nadel in einer Richtung, welche gegen die Ebene des magnetischen Meridians senkrecht ist. Die **Tangenten der Ablenkungswinkel verhalten sich wie die Stromstärken; die ersteren können deshalb als relatives Mass für die Grössen derselben gelten.** Dieser Satz gilt indess in seiner ganzen Ausdehnung nur für Nadeln von verschwindend geringer Länge. Bei zunehmendem Abstand der Nadel von der Stromlinie verringert sich die Abweichung der Nadel aus ihrer Ruhelage und **die ablenkenden Kräfte verhalten sich umgekehrt wie die senkrechten Entfernungen des Mittelpunktes der Nadel vom Drahte.** Da aber nur Ströme von bedeutender Stärke während ihres Durchströmens durch einen geraden Draht eine Magnetnadel abzulenken vermögen, so hat man, um die entfernteren Theile des Drahtes der Nadel näher zu bringen, den Draht kreisförmig um den Mittelpunkt der Nadel gebogen. Alle Punkte des Kreisstromes wirken in derselben Richtung und mit der nämlichen Intensität, auf die im Mittelpunkte angebrachte, sehr kleine Nadel; **die ablenkende Kraft steht hier ebenfalls im gleichen Verhältniss der Tangente des Ablenkungsbogens der Nadel und im verkehrten des Halbmessers des Ringes.**

Das Galvanometer mit kreisförmigem Drahte wird Tangentenboussole genannt. Der elektrische Strom circulirt in einem breiten Kreise aus Kupfer oder Messing *B* (Fig. 197), welcher so

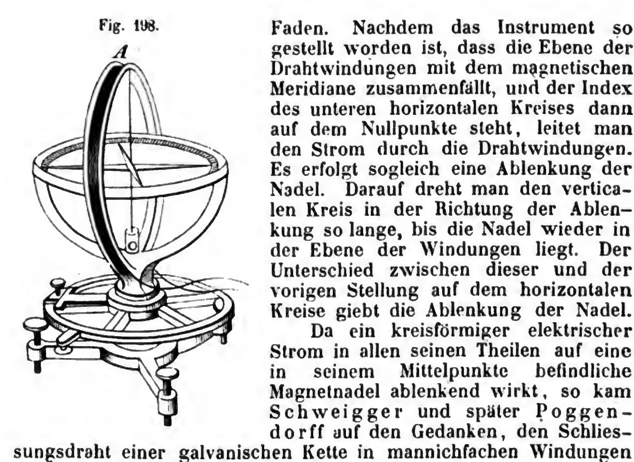
Fig. 197.



gestellt wird, dass die Ebene des Kreises mit dem magnetischen Meridiane zusammenfällt. In der Mitte *C* des Kreises befindet sich eine Compassnadel, deren Länge 4—5 mal kleiner als der Durchmesser des Ringes ist. Zwei Quecksilbernäpfchen *a* und *b* stehen mit den Polen einer galvanischen Kette (einer Grove'schen, Daniell'schen oder Bunsen'schen Kette) in Verbindung. Der elektrische Strom geht von *b* durch den Draht *p* und den Stab *pq*, durchströmt den Kreis und wird durch eine kupferne Röhre *qs*, welche den Stab *pq* umgiebt, ohne ihn zu berühren, abgeleitet· Damit bei der Kleinheit der Nadel die Ablenkungsbogen genau beobachtet werden können, befestigt man auf der Nadel einen Glasfaden von 3—4facher Länge, dessen Enden an der Kreistheilung vorübergehen.

Eine Magnetnadel, durch irgend eine Ursache aus ihrem Meridian gerückt, wird durch den Erdmagnetismus mit einer Kraft zurückgeworfen, die dem Sinus des Ablenkungswinkels proportional ist. Die magnetische Kraft des Kreisstromes wirkt winkelrecht gegen die Ebene, welche er einschliesst, und erreicht folglich seinen grössten Werth, wenn die magnetische Axe der Nadel selbst in dieser Ebene liegt oder gleichlaufend mit ihr gestellt wird. Wenn ein gewundener Draht, durch welchen der Strom läuft, um den Mittelpunkt der Nadel und eines Theilkreises drehbar ist, so kann die Nadel nicht eher wieder zur Ruhe kommen, als bis die richtende Kraft des Erdmagnetismus sich mit der ganzen abstossenden Kraft des Stromes ins Gleichgewicht gesetzt hat. ***Der Sinus des Ablenkungswinkels giebt daher das relative Mass der magnetischen Kraft*** (und folglich auch der elektrolytischen) ***des elektrischen Stromes.*** Das hiernach construirte Instrument führt den Namen Sinusboussole (Fig. 198); bei demselben ist der Draht um einen verticalen, drehbaren Kreis *A* gewunden, und die Magnetnadel hängt an einem

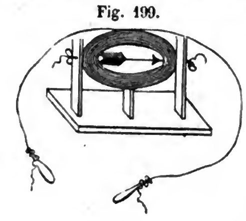
Fig. 198.



Faden. Nachdem das Instrument so gestellt worden ist, dass die Ebene der Drahtwindungen mit dem magnetischen Meridiane zusammenfällt, und der Index des unteren horizontalen Kreises dann auf dem Nullpunkte steht, leitet man den Strom durch die Drahtwindungen. Es erfolgt sogleich eine Ablenkung der Nadel. Darauf dreht man den verticalen Kreis in der Richtung der Ablenkung so lange, bis die Nadel wieder in der Ebene der Windungen liegt. Der Unterschied zwischen dieser und der vorigen Stellung auf dem horizontalen Kreise giebt die Ablenkung der Nadel.

Da ein kreisförmiger elektrischer Strom in allen seinen Theilen auf eine in seinem Mittelpunkte befindliche Magnetnadel ablenkend wirkt, so kam Schweigger und später Poggendorff auf den Gedanken, den Schliessungsdraht einer galvanischen Kette in mannichfachen Windungen um eine Magnetnadel der Länge nach zu führen und dadurch die Wirkung eines sehr schwachen Stromes bemerklich zu machen. Hierauf beruht der von Schweigger und Poggendorff construirte elektromagnetische Multiplicator. Alle diese Windungen wirken im gleichen Sinne ablenkend auf die Magnetnadel, so dass sich die Wirkungen derselben summiren. Die Stromstärke an und für sich (z. B. die elektrolytische Kraft) bleibt unverändert, die Einwirkung auf die Nadel nimmt aber zu mit der Anzahl der Windungen, welche um die Nadel gehen. Man kann deshalb durch Multiplication eine Magnetnadel in Bewegung setzen, die durch einen einfach durch einen Draht geleiteten Strom nicht afficirt worden wäre.

Fig. 199.



Die Drahtgewinde des Multiplicators macht man aus eisenfreiem, mit Seide dicht übersponnenem Kupferdraht, den man auf einen rechtwinkligen Rahmen von Holz oder Metall aufwickelt, so dass im Gewinde nur noch der nöthige Raum für die Bewegungen der Nadel bleibt. In

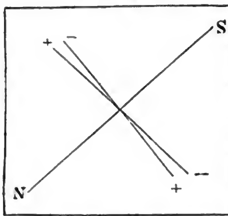
der Mitte befindet sich eine verticale Spitze, auf welcher die Magnetnadel ruht (Fig. 199). Will man einen Versuch anstellen, so giebt man den Rahmen eine mit dem magnetischen Meridiane parallele Richtung und verbindet die Drahtenden mit den Polen der Kette.

Ein anderes Verstärkungsprincip fügte Nobili bei. Da nämlich der Strom eine über ihm befindliche Magnetnadel nach entgegengesetzter Richtung ablenkt, als eine unter ihm befindliche, so wird er auf eine über ihm befindliche entgegengesetzt gerichtete in gleichem Sinne ablenkend wirken. Durch die Combination zweier gleich starker Nadeln zu einer astatischen Doppelnadel, von denen die eine innerhalb, die andere ausserhalb der Windungen des Drahtes befindlich ist, erhöht man daher die Empfindlichkeit des Apparates bedeutend, da die bereits neutralisirte richtende Kraft der Erde nun der richtenden Kraft des Stromes nicht mehr entgegenwirkt. Die beiden über einander befindlichen Nadeln haben entgegengesetzt gerichtete Pole (Fig. 200). Die eine Nadel befindet sich zwischen den Windungen, die andere darüber, so dass der Strom auf beide in gleichem Sinne wirken muss. Wenn sich diese Nadeln, wie es gewöhnlich der Fall ist, in einem spitzen Winkel durchkreuzen, so nehmen sie, sobald dieselben ungefähr gleich stark magnetisirt sind, eine fast rechtwinklige Stellung gegen den magnetischen Meridian an (Fig. 201).

Fig. 200.



Fig. 201.



Das Galvanometer mit astatischer oder Doppelnadel ist der empfindlichste Anzeiger für elektrische Ströme.

Das Differentialgalvanometer. Zuweilen macht man das Gewinde der Multiplicatoren aus zwei nebeneinander laufenden Drähten, so dass zwei abgesonderte, auf die Nadel gleichwirkende Gewinde vorhanden sind. Man lässt dann den elektrischen Strom entweder nur durch ein Gewinde und nach einander in dem nämlichen Sinne durch beide Gewinde gehen, oder auch zu gleicher Zeit durch jedes Gewinde einen besonderen Strom, beide Ströme aber in entgegenge-

setzter Richtung, um unterscheiden zu können, welcher Strom der stärkere ist, um überhaupt den Unterschied ihrer Kräfte auf die Nadel einwirken zu lassen.

Seite 263 ist angeführt worden, dass zwischen dem durch einen Strom zerlegten Elektrolyten und zwischen der Quantität und Intensität eines Stromes ein genauer Zusammenhang stattfindet. Dazu der Umstand, dass das Wasser leicht zersetzbar ist, und dass die elektrolysirte Menge desselben durch Auffangen der entwickelten Gase leicht bestimmt werden kann. Diese Thatsachen geben uns ein Mittel, einen mit einer graduirten Glasröhre zum Auffangen der Gase versehenen Wasserzersetzungsapparat zu einem genauen Strommesser zu machen, der von Faraday mit dem Namen Voltameter oder Volta-Elektrometer bezeichnet worden ist. Die Stromstärken sind den in gleichen Zeiten und unter sonst gleichen Verhältnissen entwickelten Gasquantitäten direct proportional. Der zum Auffangen der Gase dienende Apparat zeigt die nebenstehende Figur (Fig. 202). in dem Boden eines nicht zu kleinen Glasgefässes befindet sich ein Loch, in welches ein Cylinder eingeschliffen und eingekittet ist. Durch denselben führen zwei Platindrähte, deren in der Flüssigkeit befindlicher Theil breitgehämmert ist. Diese Drähte werden mit den Polen der Kette in Verbindung gesetzt. Ueber diese Drähte setzt man die graduirte Röhre, welche Wasser enthält, das mit etwas Schwefelsäure angesäuert worden ist. Zum getrennten Auffangen der Gase (des Sauerstoff- und Wasserstoffgases) dient der Apparat Fig. 203, der schon Seite 262 beschrieben worden ist.

Fig. 202.

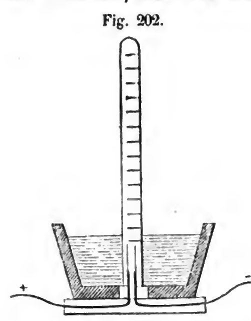
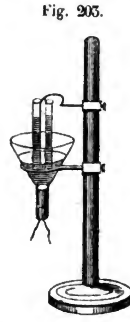


Fig. 203.



6. Inducirende Wirkungen des elektrischen Stromes. Faraday machte 1831 die Entdeckung, dass ein elektrischer Strom unter gewissen Umständen in einem benachbarten Leiter einen andern elektrischen Strom hervorbringen könne. Wickelt man auf einen Cylinder oder auf eine Holzspule einen langen, mit Seide

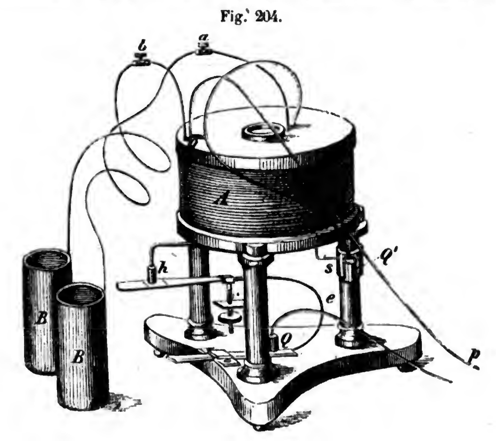
übersponnenen Kupferdraht, so dass die Windungen nicht sehr dicht neben einander liegen, und zwischen diesen Windungen einen zweiten, ebenfalls mit Seide übersponnenen Kupferdraht, so dass der zweite parallel neben dem ersten herläuft, ohne ihn zu berühren; verbindet man nun die Enden des ersten Drahtes mit den Polen einer Kette, die Enden des zweiten aber mit den Drahtenden eines Galvanometers, so verräth die Ablenkung der Magnetnadel die Gegenwart eines elektrischen Stromes im zweiten Drahte, dessen Richtung der des im ersten Drahte befindlichen Stromes entgegengesetzt ist. Dieser zweite Strom ist aber nur von kurzer Dauer, denn obgleich der Strom im ersten Drahte anhält, kommt die Galvanometernadel nach den gewöhnlichen Schwingungen wieder in Ruhe. Oeffnet man aber die galvanische Kette, so dass der Strom in dem ersten Drahte unterbrochen wird, so zeigt sich in dem Leiter abermals ein elektrischer Strom, dessen Richtung aber mit jener des verschwundenen Stromes übereinstimmt. Dieser Strom ist ebenfalls nur momentaner Dauer. Solche Ströme, welche durch die inducirende Wirkung eines anderen Stromes hervorgebracht werden, nennt man inducirte oder secundäre Ströme (Nebenströme); die anderen Ströme, welche die secundären hervorbringen, inducirende oder primäre Ströme (Hauptströme). In einem Drahte, der zu einer Spirale gewunden ist, wirkt ein Strom der einen Spirale auf die zunächst liegende, und erzeugt so einen secundären Strom. Der primäre und der erzeugte secundäre Strom fliessen demnach in ein und demselben Drahte und zwar in entgegengesetzter Richtung beim Eintreten und Zunehmen, in derselben Richtung beim Aufhören oder Abnehmen des primären Stromes. Man nennt diese Art secundärer Ströme Gegenströme.

Die durch Induction erzeugten elektrischen Ströme zeigen dieselben Eigenschaften, wie die Reibungs- und Berührungselektricität, wie Magnetisirung von Stahlnadeln, physiologische, chemische und optische Erscheinungen u. s. w. Im Allgemeinen machen sich diese Ströme bemerklich durch Erschütterungen, wenn ein thierischer Organismus als Schliesser dient, durch Funken an einer Unterbrechungsstelle als Nebenleitung, durch einen momentanen Ausschlag am Galvanometer. Zur Hervorbringung von Elektrolyse sind begreiflicher Weise die durch Induction erzeugten Ströme wenig geeignet, weil sie momentan und abwechselnd sind. Will man jedoch irgend eine Verbindung durch die Ströme elektrolysiren, so muss man eine Commutationseinrichtung in dieselbe einschalten. Nach neueren Beobachtungen ist die inductorische Kraft einer Drahtrolle grösser, wenn man in dieselbe nicht einen massi-

ven Eisenkern, sondern einen aufgeschlitzten Hohlcylinder, oder besser ein Bündel einzeln gefirnisster Eisendrähte steckt. Es lässt sich natürlich ein jeder Inductionsstrom wieder benutzen, um als inducirender Strom zu dienen, so dass eine ganze Reihe gleichzeitig eintretender Nebenströme höherer Ordnung sich denken lässt, deren jeder bei der Schliessung des Hauptstromes dem nächstvorhergehenden entgegengesetzt ist, welche aber beim Oeffnen alle dieselbe Richtung haben.

Mittelst einer Inductionsspirale lassen sich die physiologischen Wirkungen des inducirten Stromes deutlich zeigen. Haben die aufgewundenen Drähte eine bedeutende Länge, so ist die Intensität des Stromes weit stärker als die des primären, wodurch der inducirte Strom erzeugt worden ist. Eine einfache galvanische Kette giebt an und für sich keinen Schlag. Schliesst man aber mit den Enden des inducirenden Drahtes eine Kette, so giebt der inducirte Draht einen starken Schlag. Die physiologische Wirkung des inducirten Stromes lässt sich verstärken, wenn durch schnell auf einander folgendes Schliessen und Oeffnen der Kette eine schnelle Aufeinanderfolge von Schlägen hervorgebracht wird. Dies ist der Fall bei einem von Neef und Wagner construirten Apparat (Fig. 204).

Fig. 204.



A ist eine Inductionsspirale. Damit die Windungen beider Drähte von einander unterschieden werden können, sind beide Drähte mit verschieden gefärbter Seide überzogen. Die beiden Enden des Inductionsdrahtes sind *a* und *b*. Der eine Poldraht der Kette steht mit einem Quecksilbernäpfchen *Q* in Verbindung, von welchem aus ein Metalldraht nach dem Quecksilbernäpfchen *Q'* führt. In das letztere Näpfchen taucht das Ende des inducirenden Drahtes, während das andere Ende *op* mit dem andern Pole der Kette in Verbindung steht. Um den Pfeiler *s* herum befindet sich oben ein Metallring, von welchem aus ein Draht unter der Inductionsrolle hinläuft und bei *h* mit einem Hämmerchen von Platin versehen ist, welches auf einem Platinplättchen ruht, an welches sich der Draht *e* angelöthet befindet. Es ist einleuchtend, dass durch Heben und Senken des Hämmerchens der Strom abwechselnd unterbrochen und wieder hergestellt werden kann. Das Heben und Senken des Drahtes wird aber von dem Apparate selbst ausgeführt. In der Inductionsspirale befindet sich nämlich ein Cylinder von weichem Eisen, das magnetisch wird, so wie ein Strom durch den inducirenden Draht fliesst. Unter der Inductionsspirale befindet sich eine horizontale Eisenplatte ganz nahe unter dem erwähnten Eisenkern. So wie der Eisenkern magnetisch wird, zieht derselbe die Eisenplatte an, welche dadurch gehoben wird. Das Hämmerchen *h* ist mit derselben verbunden, geht deshalb mit in die Höhe und der Strom ist unterbrochen. Der Eisenkern verliert aber sogleich seinen Magnetismus wieder, die Eisenplatte fällt herab und dieses Spiel setzt sich ausserordentlich schnell fort. An den Enden der Inductionsspirale sind zwei Drähte an den metallenen Cylindern *BB* befestigt, welche man mit den befeuchteten Händen anfasst.

Der elektrische Strom einer Leidnerflasche erregt in geschlossenen Leitern, die in der Nähe des Schliessungsdrahtes befindlich sind, ebenfalls einen secundären Strom, deren Beschaffenheit von R i e s s untersucht worden ist. R i e s s fand, dass wenn man zwei Drähte, die mit den Belegungen der Leidner Flasche verbunden sind, mit den beiden Seiten eines mit Lycopodium, Mennige u. s. w. bestreuten Harzkuchens in Berührung bringt, sich, obgleich die Flasche n i c h t e n t l a d e n wird, die Seite 235 erwähnten L i c h t e n b e r g'schen F i g u r e n bilden, deren Gestalt die Richtung des Stromes erkennen lässt. Dieser secundäre Strom hat stets dieselbe Richtung wie der Hauptstrom. Aus der Erwärmung eines in ein Luftthermometer eingeschlossenen Platindrahtes lässt sich auf die Quantität der strömenden Elektricität und auf die Schnelligkeit der Entladung ein Schluss ziehen. R i e s s fand auf diese Weise, dass

die Menge der Elektricität im Nebendrahte der im Hauptdrahte und der wirksamen Länge des letzteren direct und der Entfernung beider umgekehrt proportional ist. Der Nebendraht wirkt auf die Entladung im Hauptdraht zurück; er verändert nicht die entladene Elektricitätsmenge, wohl aber die Dauer der Entladung, welche er verzögert. Sind zwei Nebendrähte in der Nähe des Hauptdrahtes befindlich, so ist der Strom in jedem schwächer als wenn der andere nicht existirte. Der Nebenstrom wird überhaupt durch jeden Körper geschwächt, in welchem gleichfalls ein elektrischer Strom hervortreten kann.

Faraday zeigte, dass der elektrische Strom auch in dem Schliessungsdrahte einer Kette eine ähnliche Wirkung wie auf einen in der Nähe befindlichen Leiter hervorbringen könne, da sich in jenem Drahte bei der Unterbrechung des Hauptstromes ein secundärer Strom nach derselben Richtung hin zeigt. Faraday nennt diesen Strom Extrastrom; durch denselben wird der ursprüngliche Strom in seiner Wirkung verstärkt. Daraus erklärt sich, warum man mit einer einfachen Kette, die nur einen sehr unbedeutenden Schlag giebt, eine starke physiologische Wirkung hervorbringen kann, wenn man die Kette mit einem langen Schliessungsdrahte versieht, dessen Enden man beim Oeffnen der Kette in die Hand nimmt. Die Intensität dieser Wirkung lässt sich noch erhöhen, wenn man den Schliessungsdraht zu einer Spirale aufwickelt, weil in diesem Falle beim Oeffnen der Kette mit dem Verschwinden des elektrischen Stromes eine jede Windung einen secundären Strom in jeder benachbarten Windung hervorruft. Wird die Kette geschlossen, so ist die physiologische Wirkung unbedeutend, weil dann die Richtung des Extrastromes der des Hauptstromes entgegengesetzt ist. Von Dove ist auch der beim Entladen einer Leidnerflasche entstehende Extrastrom nachgewiesen worden.

Durch Nähern oder Entfernen eines Magneten kann man in einem geschlossenen Leiter dieselbe Wirkung hervorbringen, wie die gleiche Ortsveränderung eines von einem Strome durchlaufenen Leiters, in welchem die Stromrichtung mit der Richtung derjenigen Ströme übereinstimmt, welche nach der Theorie von Ampère den Magnet umkreisen, d. h. **beim Nähern eines Magneten wird in einem geschlossenen Leiter ein Strom inducirt, der den Strömen des Magneten entgegenläuft, beim Entfernen ein in gleichem Sinne gehender.** Den so entstandenen secundären Strom nennt man einen magneto-elektrischen. Die Mittel, durch welche der angewandte Magnetismus erzeugt wird,

sind hierbei gleichgültig, man kann einen Stahlmagneten, einen Elektromagneten oder einen durch Erdmagnetismus inducirten weichen Eisenstab annehmen.

Dieser Fundamentalversuch lässt sich leicht mit Hülfe eines Stahlmagneten anstellen, indem man denselben in eine Drahtspirale schiebt, deren Enden mit einem Galvanometer verbunden sind. Die Nadel wird abgelenkt, kehrt aber bald in ihre Ruhelage zurück, von wo sie nach der andern Seite hin abgelenkt wird, sobald der Magnet aus der Spirale entfernt wird. Um diese Wirkung in kürzeren Intervallen hervorzurufen, kann man einen weichen Eisenstab in die Spirale stecken und einen Stahlhufeisenmagneten mit beiden Polen so an denselben anlegen, dass der Eisenstab als Anker desselben dient (Fig. 205). Durch abwechselndes Abreissen und Wiederanlegen wird in dem Anker abwechselnd Magnetismus inducirt und wieder fortgenommen, so dass im Leiter ebenfalls abwechselnd gerichtete Ströme entstehen. Oder man kann die Enden eines weichen Hufeisens mit einem zusammenhängenden Drahte so umwickeln, dass ein durch dieselben gehender Strom an beiden Enden entgegengesetzte Pole erzeugt und diesen Enden die Pole eines Stahlhufeisenmagneten abwechselnd nähern und wieder entfernen (Fig. 206), wobei jedes Ende des Eisenkernes die doppelte Wirkung erfährt, dass ein Pol des Magneten von ihm entfernt, der andere ihm genähert wird.

Fig. 205.

Fig. 206.

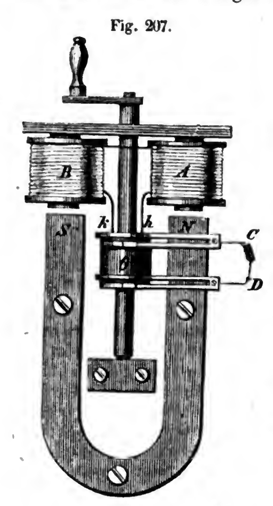
Die elektromagnetische Kraft einer inducirten Spirale ist der Summe der elektromotorischen Kräfte der einzelnen Windungen gleich.

Zur Erzeugung kräftiger elektrischer Ströme durch beweglichen Magnetismus bedient man sich der magneto-elektrischen Rotationsmaschinen, welche als eine Elektricitätsquelle eigener Art, der Elektrisirmaschine und der Volta'schen Batterie an die Seite gestellt werden kann. In diesen Apparaten wird durch Bewegung eines Magneten und eines Eisenkernes gegen einander, in eine den Eisenkern umgebende Spirale ein Strom inducirt. Bei allen diesen Apparaten wird die Rotation des Magneten gegen den Anker oder des Ankers gegen den Magneten angewendet.

Sie liefern alle in rascher Folge eine Reihe von Inductionsströmen, welche zur Wasserzersetzung, zur Funkenbildung, zur Magnetisirung des weichen Eisens und zu physiologischen Erscheinungen angewendet werden können. Wir führen von den Rotationsmaschinen an die von Pixii, Stöhrer und die von Saxton (v. Ettingshausen).

Die von Pixii angegebene Rotationsmaschine besteht aus einem um eine senkrechte Axe rotirenden Stahlmagneten, über dessen Polen zwei mit zusammenhängenden Spiralen umwundene Eisenkerne angebracht sind. Die durch Rotation in die Spiralen inducirten Ströme haben hierbei abwechselnde Richtung und können daher nicht zu Zersetzungserscheinungen benutzt werden. Deshalb muss mit dem Apparate ein Commutator verbunden sein, der sein Spiel während einer Drehung so vollendet, dass während der einen Hälfte der Strom, welcher sich durch die Polveränderung des Magneten umgesetzt haben sollte, durch den Commutator wieder in den vorigen übergeht. Der Magnet trägt zu diesem Ende eine halbkreisförmige horizontale Platte, welche während der einen halben Drehung mit ihrer Peripherie den Stiel eines Gyrotropen zur Seite drückt und denselben dadurch umsetzt, während der anderen halben Drehung aber keinen Druck ausübt, so dass der Bügel des Gyrotropen durch Federkraft in die alte Lage zurückkehrt. Die Quecksilbergefässe werden hierbei, um das Spritzen zu vermeiden, durch amalgamirte Kupferfedern ersetzt.

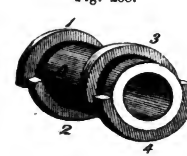
Fig. 207.



Der nach der Construction von Stöhrer, der sich um die Vervollkommnung der Rotationsapparate die grössten Verdienste erworben hat, dargestellte Apparat ist Fig. 207 abgebildet. *A* und *B* sind Inductorrollen, in deren Höhlung sich die durch eine Eisenplatte verbundenen Kerne von weichem Eisen befinden. Durch die Axe können sie in schnelle Rotation versetzt werden; die Eisenkerne rotiren dann ganz nahe an den Polen *NS* des hufeisenförmigen Stahlmagneten

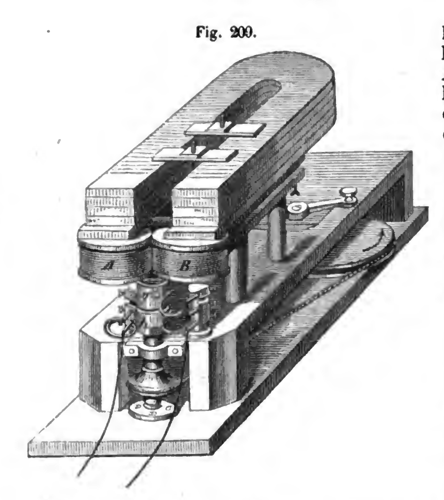
vorüber. Jeder Kern wird dadurch abwechselnd in einen Nordpol und dann wieder in einen Südpol verwandelt. Die Vorrichtung *CDO* hat die Bestimmung, die entstehenden secundären Ströme aus den Drahtrollen *AB* nach dem menschlichen Körper oder zur Erzeugung von mechanischen Wirkungen nach anderen Apparaten hinzuleiten; sie hat aber auch zu gleicher Zeit die Bestimmung, die nach jeder halben Umdrehung entgegengesetzt gerichteten Ströme in Ströme von gleicher Richtung zu verwandeln und zu bewirken, dass die Maschine nur gleichgerichtete Ströme liefert. Diese Vorrichtung, Commutator genannt (Fig. 208), hat folgende Einrichtung: *O* ist ein Messingrohr, an dessen Enden zwei halbe Stahlringe 2 und 3 so aufgelöthet sind, dass sie sich gegenüber liegen und dass die Enden sich etwas überragen. In dem Rohre *O* befindet sich ein zweites Messingrohr, das von *O* durch ein dünnes isolirendes Holzrohr getrennt ist. Dieses zweite Rohr ragt aus dem Rohre *O* an beiden Enden hervor und trägt auf diesen Stellen ebenfalls zwei auf ähnliche Weise angelöthete Stahlringe 1 und 4. Die Ringe 1 und 4, und ebenso die Ringe 2 und 3 stehen in leitender Verbindung, die Ringpaare sind aber von einander durch das Holzrohr isolirt. Das Ende *h* der Drahtrolle *A* (Fig. 207) steht mit dem Ringe 1, das Ende *k* der Drahtrolle *B* mit dem Ringe 2 in Verbindung. Diese ganze Vorrichtung dreht sich zugleich mit der Axe. *C* und *D* sind zwei dünne Stahlfedern, die an dem einen Ende an der Maschine befestigt sind, während die anderen Enden gabelförmig aufgeschlitzt, mit ihren Zinken gegen die Ringe 1, 2, 3 und 4 federn. Ein bei *k* aus der Drahtrolle austretender positiver Strom geht durch den Ring 2, von *C* nach *D*, von da zu den Ringen 4 und 1, und vollendet seinen Kreislauf, indem er bei *h* in die Drahtrolle zurücktritt. Nach einer halben Umdrehung verändert sich die Richtung der zwei secundären Ströme, der positive Strom tritt bei *h* aus der Drahtrolle; der Stellung des Commutators wegen tritt der Strom nun auf den Ring 1, von *C* nach *D*, von da zu dem Ringe 3 und 2 und geht endlich bei *k* wieder in die Drahtrollen über. Bei dieser Commutatorvorrichtung wird also der Schliessungsdraht von jedem Paare der in dem Inductor erzeugten secundären Ströme in der nämlichen Richtung durchflossen.

Fig. 208.



Die Rotationsmaschine von Ettingshausen (Fig. 209) besteht aus einem zusammengesetzten Hufeisenmagnete, um dessen

Fig. 209.



Pole *A* und *B* zwei Drahtspiralen um eine Axe gedreht werden können. Auf der Umdrehungsaxe des Inductors sitzt, durch eine isolirende Hülse von Holz, Glas oder Elfenbein getrennt, ein Stahlring *g*. Das eine Ende des Windungsdrahtes, das von der Drahtrolle *B* kommt, befindet sich auf dem Ringe *g*, das andere von *A* kommende Ende ist auf *h* befestigt. Zu beiden Seiten des Inductors befindet sich ein messingenes Säulchen, welche die Bestimmung haben, mittelst Metallfedern die secundären Ströme aus dem Inductor und den Stahlstücken aufzunehmen und von hier aus zu beliebigen Zwecken in andere Drähte, welche mit den Säulchen verbunden werden, weiter zu führen. Beabsichtigt man die Inductionsströme in den menschlichen Körper zu leiten, so verbindet man mit den Messingsäulchen zwei metallene Conductoren, welche man mit den Händen fasst.

Die Intensität der Wirkung der Rotationsapparate wird durch beliebige Verstärkung oder Schwächung der Drehungsgeschwindigkeit vermehrt oder vermindert. Zum medicinischen Gebrauche, zu welchem es von Wichtigkeit ist, die Wirkung hinreichend schwächen zu können, entfernt man entweder den Magnet von den Eisenspulen der Drahtspiralen, oder man verbindet die beiden Pole des Magneten durch einen Anker.

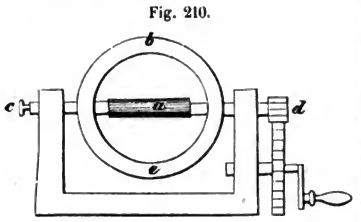
Anstatt eines beständigen Magneten kann man, wie erwähnt, auch einen temporären, einen Elektromagneten anwenden, wo dann der durch den Wechsel der Stromrichtung bewirkte Wechsel der Pole des Elektromagneten die Rotation des Inductors oder des Magneten vertritt.

Auch der Erdmagnetismus ist fähig, secundäre elektrische

Ströme in bewegten Leitern zu erzeugen. Wenn man die Enden eines um einen grossen Holzrahmen geführten Drahtes mit einem Galvanometer verbindet, darauf den Rahmen dem magnetischen Meridian parallel hält und rasch um eine horizontale Seite wendet, so bemerkt man durch die Ablenkung der Magnetnadel das Vorhandensein eines elektrischen Stromes.

Das schon S. 220 erwähnte Inductions-Inclinatorium (Fig. 210) gründet sich auf die inducirende Eigenschaft des Erdmagnetismus. Ein kupferner Ring *b e* wird um eine Boussole *a* und die im magnetischen Meridiane befindliche Axe *dc* schnell gedreht. Der vom Erdmagnetismus erzeugte secundäre Strom bewirkt eine Ablenkung der Nadel. Die Ablenkung geschieht nur durch den verticalen Theil des Erdmagnetismus, da wegen der Stellung des Ringes im Meridiane weder die Nadel noch der horizontale Theil des Erdmagnetismus einen Strom erregen kann. Der Kupferring dient als Commutator und bewirkt deshalb eine Ablenkung nach ein und derselben Richtung, indem bei jeder Drehung, während der einen Hälfte derselben der inducirte Strom nach der einen, während der andern Hälfte nach der andern Richtung geht. Der horizontale Theil des Erdmagnetismus strebt die Nadel in den Meridian, die verticale mittelst des secundären Stromes in die darauf senkrechte Richtung zu drehen. Aus dem Quotienten beider Kräfte berechnet man die gesuchte Induction.

Fig. 210.



Es geht aus der Induction elektrischer Ströme durch den Magnetismus hervor, dass auch die Nadel eines Galvanometers, wenn sie abgelenkt wird, in dem sie umgebenden Drahte einen Strom erzeugt, der auf sie selbst zurückwirken muss. Man stelle sich vor, zwei beweglich aufgehängte Magnetnadeln seien so weit von einander entfernt, dass sie auf einander nicht einwirken können, und eine jede Nadel, wie die eines Galvanometers, mit einem Drahtgewinde umgeben. Sind die Drahtgewinde mit einander leitend verbunden, und wird eine dieser Nadeln bewegt, so geräth auch die andere in Bewegung. Diese Bewegung ist eine Folge des durch magnetische Induction in dem Drahte entstandenen secundären Stromes. Denkt man sich nun ein Drahtgewinde mit einer ganzen

Reihe von Galvanometern in Verbindung gesetzt, so werden in allen Galvanometern die Nadeln sich bewegen, sobald man in das Drahtgewinde einen starken Magneten bringt. Solche secundäre Ströme sind von Gauss statt der durch Volta'sche Säulen erregten Elektricität vorgeschlagen worden. Steinheil hat einen auf dieses Princip basirten elektrischen Telegraphen construirt.

Die Eigenschaft eines Magneten, einen secundären Strom zu erregen, ist angewendet worden, um die durch den elektrischen Strom bewirkte Induction zu verstärken. Eben so wie ein secundärer Strom verstärkt werden kann, wenn man den Draht zu einer Spirale aufwindet, ebenso kann man dadurch, dass man in die Spirale einen Stab aus weichem Eisen bringt, den Strom noch mehr verstärken, weil das Eisen durch den um dasselbe circulirenden Strom magnetisch wird; der Magnetismus hört aber sogleich mit dem Unterbrechen des Hauptstromes im Drahte auf und veranlasst einen Strom, welcher gleiche Richtung mit dem inducirten hat. Noch mehr tritt nach Magnus die Verstärkung des elektrischen Stromes hervor, wenn man anstatt des Stück Eisens, ein Bündel von Eisendrähten in die Spirale bringt; vortheilhaft ist es, die einzelnen Drähte durch Ueberspinnen mit Seide von einander zu isoliren.

Durch die Rotation eines Magneten um seine eigene Axe entstehen nach Faraday elektrische Ströme, die durch ein Galvanometer zu erkennen sind, wenn man ein Ende eines rotirenden Magnetstabes und eine Stelle zwischen seinen Polen mit den Galvanometerdrähten in Verbindung setzt. Wilhelm Weber betrachtete diese Art der Stromerregung als einen besonderen Fall der Induction und nennt dieselbe unipolare Induction.

Leitungswiderstand, elektromotorische Kraft, Quantität der Elektricität.

In jeder geschlossenen elektrischen Kette giebt es drei Grössen, welche in wechselseitiger Abhängigkeit stehen; diese drei Grössen sind:

1) der Leitungswiderstand,
2) die elektromotorische Kraft,
3) Die Quantität der in Bewegung gesetzten Elektricität.

Man kann sich den elektrischen Strom nur bei gleichzeitigem Vorhandensein beider elektrischer Zustände, nämlich des positiven und des negativen denken, denn der elektrische Strom ist in der That weiter nichts als der Actus der Ausgleichung beider Zustände.

Man bestimmt die Stärke des Stromes durch die Menge der Elektricität, welche in einer bestimmten Zeit durch den Querdurchschnitt des Körpers geht, welcher die Ausgleichung herbeiführt. Derjenige Strom, bei welchem eine grössere Quantität Elektricität in der nämlichen Zeit durch einen Querschnitt strömt, als bei einem anderen, heisst der stärkere, der intensivere Strom. Die Stärke des Stromes misst man am besten, wie aus dem vorigen Abschnitte erhellt, vermittelst einiger Eigenschaften des Stromes, zu welchen man am geeignetsten die Eigenschaften chemischer Verbindungen zu zersetzen (Voltameter), oder die, eine Magnetnadel aus ihrer Ruhelage abzulenken (Galvanometer), benutzt. Die Natur des Leiters, welcher die Ausgleichung herbeiführt, ist auf den Strom von grossem Einflusse. Ein jeder in einen Strom eingeschaltete neue Leiter schwächt denselben. Denn, wenn man in den Schliessungskreis einer Volta'schen Kette oder eines elektrischen Apparates ein Galvanometer einschaltet, welches durch die Ablenkung der Magnetnadel die Stärke des elektrischen Stromes anzeigt, so macht man die Beobachtung, dass der Ausschlagswinkel der Nadel kleiner wird, wenn man in den Schliessungskreis einen neuen Leiter bringt; umgekehrt wird der Ausschlagswinkel vergrössert, wenn man einen Bestandtheil des Leiters aus dem Schliessungskreise entfernt. Dieser Versuch zeigt deutlich, dass ein jeder Bestandtheil des Schliessungskreises dem Strome einen gewissen Widerstand leistet, wodurch die Stärke des Stromes geschwächt wird. Hieraus folgt der Begriff des Leitungswiderstandes, dessen Grösse wir nach dem Einflusse schätzen, den er auf die Stärke des Stromes ausübt.

Gesetzt, man habe die Stromstärke einer Kette mit Hülfe des Galvanometers gemessen, und man schalte einen Metalldraht z. B. einen Kupferdraht von bekanntem Querschnitte ein, so wird man bemerken, dass bei wachsender Länge des Drahtes die Stärke des Stromes abnimmt, mithin der Leitungswiderstand zunimmt.

Bei einer gewissen Länge des Drahtes, die wir mit l bezeichnen wollen, ist nur noch die Hälfte des ursprünglichen Stromes vorhanden. Fährt man fort, Draht einzuschalten, bis die Längen nach und nach l, 2l, 3l, 4l, 5l u. s. w. geworden sind, so sieht man, dass die strömende Elektricitätsmenge von ihrer ursprünglichen Grösse auf $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$ u. s. w. reducirt worden ist. Hieraus folgt, ***dass die durch den Draht bewirkte Verminderung der Stärke des Stromes seiner Länge proportional ist.*** Für Metalle in Drahtform lehrt der Ver-

such, dass der **Leitungswiderstand** W ausgedrückt werden kann durch die Gleichung

$$W = \frac{KL}{Q}$$

wobei L die Länge des Drahtes, Q die Fläche des Querschnittes und K eine von der Temperatur der Körper und der chemischen Beschaffenheit abhängige Grösse bedeutet.

Ein Draht von bekannter Länge und Stärke, der denselben Leitungswiderstand ausübt, wie eine Volta'sche Kette, giebt einen allgemeinen vergleichbaren Ausdruck des Widerstandes dieser Kette. Den so bezeichneten Widerstand nennt man den **reducirten Leitungswiderstand**. Zwischen der Stromstärke und dem reducirten Leitungswiderstand findet folgende einfache Beziehung statt: ***Die Menge der bewegten Elektricität verhält sich umgekehrt wie der Leitungswiderstand.*** Ein Strom, der nach einander durch verschiedene Leiter strömt, welche einen ungleichen Leitungswiderstand besitzen, wird auf eine solche Weise verändert, dass die Stromstärken sich verkehrt wie die Gesammtwiderstände verhalten, mit anderen Worten, dass für eine bestimmte Elektricitätsquelle das Product der Stromstärke und des Gesammtwiderstandes stets dasselbe ist. Diejenige Kraft, welche die zur Entstehung des elektrischen Stromes erforderliche Menge Elektricität liefert, heisst **elektromotorische Kraft** (vergl. S. 246); sie muss, mag sie nun vermittelst der Elektrisirmaschine, der Volta'schen Säule, durch Induction oder auf irgend eine andere Weise erzeugt worden sein, eine um so grössere Intensität haben, je stärker der Leitungswiderstand, je grösser die hervorzubringende Stromstärke ist. Man kann daher die elektromotorische Kraft E dem Producte aus dem Gesammtwiderstande des ganzen Schliessungskreises W und der Stromstärke S gleichsetzen, d. h.

$$E = WS \text{ oder } S = \frac{E}{W}.$$

Die Quantität der bewegten Elektricität steht bei unverändertem Leitungswiderstande im geraden Verhältnisse zur elektromotorischen Kraft.

Dass durch die vorstehende Formel ausgedrückte Gesetz heisst nach seinem Entdecker das **Ohm'sche Gesetz**.

Für den Gebrauch der galvanischen Kette lassen sich aus diesem Gesetze die wichtigsten Folgerungen ableiten. Werden

mehrere einfache Ketten in gleicher Ordnung aneinander gereiht, so steigt die elektromotorische Kraft, aber mit der Vermehrung der Glieder der Kette nimmt auch der Leitungswiderstand zu. Ist nun die Zunahme des Leitungswiderstandes der Zunahme der elektromotorischen Kraft proportional, so wird nichts an Stromstärke gewonnen. Befinden sich aber in der Kette ausser den wirksamen Theilen derselben noch andere Bestandtheile, deren Leitungswiderstand zu berücksichtigen ist, wie z. B. eine Zersetzungszelle oder ein langer Draht, so verursacht eine Zunahme der elektromotorischen Kraft nicht zu gleicher Zeit eine proportionale Zunahme des Leitungswiderstandes. Die Stromstärke nimmt durch die vermehrte elektromotorische Kraft um so beträchtlicher zu, je grösser das Verhältniss des Widerstandes sämmtlicher unwirksamer Theile zu der Anzahl der Elemente und dem reducirten Widerstande eines Elementes ist. — Der Leitungswiderstand einer Kette mit Inbegriff des Galvanometers sei = l. Durch Hinzufügen einer neuen Drahtlänge von demselben Durchschnitte wie der erstere Draht vermindert sich die Stromstärke auf die Hälfte. Construirt man darauf den Schliessungsbogen aus neben einander liegenden Drähten derselben Art und giebt einem jeden Draht die Länge 2 l, so vermindert sich die anfängliche Stromstärke um die Hälfte. Daraus folgt, dass zwei gleich dicke Drähte von doppelter Länge zusammengenommen eben so gut leiten, als ein Draht von derselben Dicke bei einfacher Länge. ***Der Widerstand gleichartiger Drähte ist ihrer Länge direct und ihrem Querschnitt umgekehrt proportional.*** Der Widerstand aller gleichartigen Metallstücke einer Kette lässt sich auf eine Drahtlänge von dem Querschnitte = 1 zurückführen, wenn man die Länge jedes einzelnen Stückes durch ihren Querschnitt dividirt und alle so erhaltenen Quotienten addirt.

Dasselbe Gesetz findet auch für die flüssigen Leiter Anwendung; um dasselbe zu erkennen muss jedoch vorher der Einfluss der Polarisation beseitigt sein. Der Widerstand der flüssigen Säule verhält sich wie ihre Länge und ist ebenfalls umgekehrt dem Querschnitt proportional. Durch Division des Querschnittes in die Länge kann man auch den Leitungswiderstand der flüssigen Bestandtheile galvanischer Ketten, auf die Länge einer Säule, die Eins zum Querschnitte hat, zurückführen. Die Leitungswiderstände der Flüssigkeiten werden durch die Erhöhung der Temperatur bedeutend verringert, während die der Metalle sich durch Erhöhung der Temperatur vergrössern. Setzt man die Leitungsfähigkeit des chemisch reinen Kupfers als Einheit, so ist die

des käuflichen Kupfers mit einer Spur von Eisen = 0,8258
„ „ „ „ „ „ „ Nickel = 0,6424
„ chemisch reinen Silbers = 1,0480
die des Neusilbers = 0.0845.

Die Leitungswiderstände verhalten sich umgekehrt wie die Leitungsfähigkeiten; man findet demnach diese letzteren, indem man mit jeder dieser Zahlen in 1 dividirt. So findet man

den Leitungswiderstand des Kupfers = 1 gesetzt,
„ „ „ „ eisenhaltigen Kupfers = 1,211
„ „ „ „ nickelhaltigen „ = 1,556
„ „ „ „ Silbers = 0,954
„ „ „ „ Neusilbers = 11,830.

Aus dem Verhalten der durch Reibung erzeugten Elektricität haben sich für die Leitungsfähigkeit der Metalle folgende Zahlen ergeben (Riess):

Kupfer	100	Eisen	17,7
Silber	148,7	Platin	15,5
Gold	88,9	Zinn	14,7
Cadmium	38,4	Nickel	13,2
Messing	27,7	Blei	10,3
Palladium	18,2	Neusilber	8,9.

Aus dem Widerstande, welchen inducirte Ströme in verschiedenen Metalldrähten erfahren, leitete Lenz die folgenden Zahlen ab:

Kupfer	100	Blei	14,62
Silber	136,25	Platin	14,16
Gold	79,79	Antimon	8,87
Zinn	30,84	Wismuth	2,58
Messing	29,33	Quecksilber	4,66
Eisen	17,74.		

Horsford hat den Leitungswiderstand mehrerer Flüssigkeiten gemessen und mit dem des chemisch reinen Silbers verglichen. Er fand dabei folgende Zahlen:

Name und Natur der Flüssigkeit.	Leitungswiderstand des chemisch-reinen Silbers = 1.
Schwefelsäure von 1,10 specifisches Gewicht	938500
„ „ 1,15 „ „	804500
„ „ 1,20 „ „	696700
„ „ 1,24 „ „	696700
„ „ 1,34 „ „	696700
„ „ 1,40 „ „	1023400
Kochsalzlösung „ 27,6 Gr. in 500 Kubikcentim. Wasser	7157000
Kupfervitriollösung „ 15 „ 100 „ „	12058000
„ „ 15 „ 200 „ „	17490000
Zinkvitriollösung „ 7,289 „ 100 „ „	23515000.

Eine andere Reihe von Versuchen über den Leitungswiderstand aus Kupfer- und Zinksalzen ist ferner noch von Hankel, Buff und Becquerel angestellt worden. Ersterer Physiker hat auch Versuche angestellt, die Stärke elektrischer Ströme aus der Verlängerung abzuleiten, welche ein vom Strome durchflossener Draht in Folge der Erwärmung erfährt.

Die elektromotorische Kraft kann auf mehrfache Weise bestimmt werden. Die eine besteht darin, dass man die Stromstärke im betreffenden Elektromotor bei zwei verschiedenen Leitungswiderständen des Schliessungsleiters bestimmt und die Werthe in der Ohm'schen Formel substituirt. Ist es hinreichend, das Verhältniss zweier elektromotorischen Kräfte zu zeigen, so kann man dies erreichen, indem man die beiden Elektromotoren einmal in gleicher, das andere Mal in entgegengesetzter Richtung mit einander verbindet und in beiden Fällen den entstehenden Strom beobachtet. In dem ersten Falle ist derselbe der Summe, in dem zweiten Falle der Differenz der beiden einzelnen Ströme gleich.

Joule hat die elektromotorischen Kräfte einer grossen Anzahl von Elektromotoren bestimmt. Die gewöhnliche Zink-Kupferzelle (Daniell'sche Zelle) mit verdünnter Schwefelsäure und schwefelsaurem Kupferoxyd ist hierbei als Einheit (= 100) angenommen worden. In der folgenden Tabelle sind einige dieser Bestimmungen enthalten, welche vollständig in Baumgartner's Naturlehre, p. 317 enthalten sind:

Negatives Element.	Positives Element.	Elektromotorische Kraft.
Gold	Zink mit Kalilösung	234
Platin	Eisen „ „	169
„	Kupfer „ „	120
„	Silber „ „	66
„	Platin „ „	31
„	Zink, amalgam. mit verdünnter Schwefelsäure,	187
„	Eisen „ „ „ „	140
„	Kupfer „ „ „ „	91
„	Silber „ „ „ „	53
„	Platin „ „ „ „	37
Kupfer	Zink und Schwefelsäure	116
„ mit Kupfervitriol	Zink mit Kalilösung	138
„ „ „	Eisen „ „	66
„ „ „	Kupfer „ „	33
„ „ „	Zink, amalgamirt mit Kochsalzlösung,	166
„ „ „	„ „ „ verd. Schwefelsäure	100
„ „ „	Eisen „ „ „ „	49
„ „ „	Kupfer „ „ „ „	4
Silber, platinirt	Zink „ „ Kochsalzlösung	68
„ „	„ „ „ Kalilösung	98.

Von der Polarisation der Platten.

Gewöhnlich findet man, dass die Elektrolyse eines Körpers in der geschlossenen Kette sogleich nach der Schliessung am schnellsten von sich geht, bald darauf aber sehr rasch abnimmt. Hat man ein Galvanometer eingeschaltet, so zeigt sich eine gleichzeitige Abnahme in dessen magnetischer Wirksamkeit. Diese Verminderung erreicht in vielen Fällen den kleinsten Werth, bei welchem sodann die Stromstärke längere Zeit hindurch ziemlich unverändert bleibt. Zuweilen findet aber auch fortwährende Abnahme der Stromstärke statt. Dieselbe nimmt wieder zu, wenn man die Kette auf kurze Zeit öffnet. Die ursprüngliche Stärke wird nur dann wieder erreicht, wenn man die Metallplatten herausnimmt und sorgfältig reinigt. Metallplatten, deren elektrische Erregungsfähigkeit auf die angegebene Weise verändert worden ist, nennt man polarisirte und bezeichnet den dadurch hervorgerufenen Zustand mit dem Namen Polarisation der Platten. Anfänglich schrieb man diese Polarisation einer eigenthümlichen, durch den elektrischen Strom selbst verursachten Beschaffenheit der Oberfläche der eingetauchten Platten zu. Später nahm man einen besonderen Widerstand des Ueberganges an, den der Strom beim Eintritte aus festen Leitern in flüssige und umgekehrt erfahre. Jetzt ist es allgemein anerkannt, dass diese sogenannte Polarisation in allen Fällen in einer Ablagerung fremdartiger Bestandtheile auf der Oberfläche der Platten, in Folge der Elektrolyse ihren Grund habe; man fand, dass eine solche Ablagerung die unmittelbare und nothwendige Folge des elektrischen Stromes und der Zersetzung der Flüssigkeit sein müsse und dass durch Entfernung dieser fremden Körper, also durch Reinigen der Platten die Stromstärke in ihrer ursprünglichen Beschaffenheit wieder hergestellt werden könne.

Dass dem so sei, lehrt folgender Versuch. Man tauche eine Platinplatte als negatives Glied einer galvanischen Kette in eine Lösung von Kupfervitriol; sogleich mit dem Eintritt des Stromes überdeckt sich die Platinplatte mit metallischem Kupfer; in eine Lösung von Zinkvitriol getaucht, erhält sie allmählich einen Ueberzug von Zink. Die Platte muss also in Bezug auf ihr elektrisches Verhalten im ersteren Falle immer mehr und mehr die Beschaffenheit einer Kupferplatte, im zweiten die einer Zinkplatte annehmen.

Wenn man in einer galvanischen Kette Wasser, oder eine wässrige Flüssigkeit zersetzt, so umhüllt sich die negative Pol-

platte mit Wasserstoff. Die elektropositive Polplatte, wenn sie nicht in der Flüssigkeit aufgelöst wird, scheidet Sauerstoff ab und bedeckt sich damit. Sauerstoff bildet das elektronegative Ende der Spannungsreihe, und Wasserstoff ist jedenfalls noch elektropositiver als Zink (vergl. S. 246). Nimmt man an, dass beide Gase sich in solcher Dichte ablagern könnten, dass die Berührung der metallischen Oberfläche mit der Flüssigkeit aufhörte, so würden in der Flüssigkeit sich nicht mehr zwei Metallplatten, sondern zwei Gasplatten (eine Wasserstoffplatte und eine Sauerstoffplatte) einander gegenüberstehen. Es ist klar, dass hieraus eine elektromotorische Kraft entstehen müsste, deren Richtung der der ursprünglich vorhandenen entgegengesetzt ist, deren Grösse aber die der elektromotorischen Kraft einer Kupfer-Zink- oder Kohlen-Zinkkette bei weitem übertrifft. Eine solche vollständige Umkehrung des elektrischen Stromes, erzeugt durch eine secundäre elektromotorische Thätigkeit, wird unter den gewöhnlichen Verhältnissen begreiflicher Weise nie erreicht. Zwei Platinplatten, von denen die eine mit Wasserstoff, die andere mit Sauerstoff bedeckt (polarisirt) ist, in verdünnte Schwefelsäure einander gegenübergestellt und mit einander verbunden, verhalten sich einige Augenblicke lang wie eine Wasserstoff-Sauerstoffkette, deren elektromotorische Kraft von bedeutender Grösse ist. Aus mehreren Elementen dieser Art lassen sich Säulen von bedeutender Kraft, aber nur von kurzer Dauer errichten.

Der durch die Polarisation erhaltene secundäre Strom wird durch eine zweckmässige Anordnung mehrerer Platinplatten so verstärkt, dass mit Hülfe desselben alle Wirkungen des elektrischen Stromes hervorgebracht werden können, wie dies in Grove's Gasbatterie (vergl. S. 257) der Fall ist.

Poggendorff ist es gelungen, die Kraft einer Wasserstoff-Sauerstoffsäule nutzbar zu machen. Man stellt eine Reihe platinirter Platinplatten paarweise in Zellen, in denen sich verdünnte Schwefelsäure befindet; anstatt jede dieser Platten mit einer besondern Gasatmosphäre zu umgeben, verbindet man die Platte jeder Zelle mit der Anode, die andere mit der Kathode einer Batterie oder auch nur eines einzigen Platin-Zinkelementes. Auf diese Weise werden alle Platten polarisirt und zwar mit derselben Stärke, indem sie sich wie ein einziges Plattenpaar oder wie die Elektroden eines Wasserzersetzungsapparates verhalten, deren Oberfläche so gross ist, als die sämmtlichen Platten zusammengenommen. Hebt man nach einiger Zeit die Verbindung mit der Batterie auf und verbindet nun die Platten nach dem Principe der Volta'schen

Kette, so erhält man eine Säule, welche stärker ist als das zum Laden angewendete Element. Die Polarisation ist demnach unter Umständen ein Mittel, die elektromotorische Kraft eines Stromes sehr beträchtlich zu erhöhen.

Nach Poggendorff ist die Polarisation abhängig:

1) Von der Intensität des Stromes, indem die Polarisation mit der Quantität der Elektricität wächst, welche durch einen bestimmten Querschnitt eines Leiters austritt, so dass, wenn ein Strom durch mehrere grosse und kleine Plattenpaare geleitet wird, die grösseren weniger polarisirt werden, als die kleineren.

2) Von der Natur der Platten; im Allgemeinen kann man den Satz aufstellen, dass die Platten um so weniger polarisationsfähig sind, je mehr sie von der Flüssigkeit angegriffen werden.

3) Von der Beschaffenheit der Oberfläche. Platten mit glatter Oberfläche werden stärker polarisirt, als Platten mit rauher Oberfläche.

4) Von der Natur der Flüssigkeit; dieser Einfluss ist jedoch noch nicht hinreichend ermittelt worden.

5) Von der Temperatur. Eine Erhöhung derselben vermindert die Polarisation, ähnlich wirkt eine Verminderung des Druckes.

Die Ladungssäule, secundäre Säule oder Ritter'sche Säule (vergl. S. 249). Wenn man eine Anzahl gleichartiger Metallplatten z. B. Kupferplatten abwechselnd mit feuchten Papp- oder Tuchscheiben schichtet und in den Kreis einer Volta'schen Säule oder zwischen beide Conductoren einer kräftig wirkenden Elektrisirmaschine bringt, so nehmen sie auf kurze Zeit das Verhalten einer selbstthätigen elektrischen Säule an. Eine solche Säule nennt man eine Ladungssäule. Die Wirkung dieser Säule erklärt sich leicht durch die Polarisation der Metallplatten.

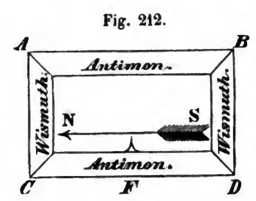
Thermoelektricität.

In einem geschlossenen Kreise, der nur aus Metallen gebildet ist, entsteht sogleich ein elektrischer Strom, sobald irgend eine Verbindungsstelle zweier verschiedener Metalle erwärmt oder erkältet wird. Die durch die Wärme hervorgerufene Elektricität wurde von ihrem Entdecker Seebeck mit dem Namen Thermomagnetismus bezeichnet, während sie jetzt allgemein Thermoelektricität genannt wird. Biegt man einen Kupferdraht so zusammen, wie es Fig. 211 zeigt, und erwärmt das vorstehende Ende *a*, so entsteht ein elektrischer Strom, der sich nach der Richtung der Pfeile bewegt. Eben so entsteht ein Strom, wenn man die ver-

Fig. 211.

schlungenenen Enden eines Multiplicators schraubenförmig zusammenwickelt und sie erhitzt, was aus der erfolgenden Ablenkung der Galvanometernadel ersichtlich ist. Am deutlichsten zeigt sich der thermoelektrische Strom bei Anwendung des folgenden Apparates (Fig. 212). Die Seiten des Rechtecks $ABCD$ bestehen abwechselnd aus Wismuth und Antimon; auf der Mitte des unteren Streifens bei F ist die Magnetnadel NS angebracht. Fällt die Ebene des Rechtecks mit der des magnetischen Meridians zusammen, so hat die Nadel genau die die Richtung von DC; erwärmt man aber eine der Stellen, wo beide Metalle verbunden sind, so wird die Nadel, je nach der Richtung des erzeugten Stromes, nach links oder nach rechts abgelenkt. Vermittelst eines Galvanometers können diese Ströme leicht wahrgenommen werden. Da diese Ströme nur eine geringe Spannung haben und deshalb keinen bedeutenden Leitungswiderstand überwinden können, nimmt man bei den Versuchen über solche Ströme einen Multiplicator, der nur aus wenigen Windungen eines dicken Drahtes besteht. Befestigt man an die beiden Drahtenden des Multiplicators einen Draht von dem zu untersuchenden Metalle, z. B. einen Eisendraht, und erwärmt die eine Verbindungsstelle, während man die andere kalt lässt, so bemerkt man sogleich einen Strom. Erkältet man diese Stelle, so erhält man einen Strom, dessen Richtung der des durch Wärme erzeugten Stromes entgegengesetzt ist.

Fig. 212.



Ersetzt man den Eisendraht durch andere Metalle, so erhält man in Bezug auf die Stromstärke sehr verschiedene Resultate. Diese Versuche führten zu einer thermoelektrischen Spannungsreihe. Die hauptsächlichsten Metalle bilden folgende Reihe:

Wismuth	Messing	Zink
Neusilber	Kupfer	Silber
Nickel	Zinn	Kadmium
Kobalt	Blei	Eisen
Platin	Kupfer	Antimon.
Gold	Platin	

Je weiter die beiden Metalle, welche man zur Construction einer thermoelektrischen Kette nimmt, in der vorstehenden Span-

nungsreihe auseinander liegen, desto stärker tritt ihre Wirkung hervor. Kleine Unterschiede in der Zusammensetzung und Bearbeitung ändern die Stellung in der aufgestellten Reihe; Kupfer und Platin sind aus diesem Grunde an zwei Stellen angeführt worden. Die Thermoelektricität ist als ein Mittel vorgeschlagen worden, die Metalle auf ihre Reinheit zu prüfen. Die meisten thermoelektrischen Ströme nehmen nicht in geradem Verhältnisse mit der Temperatur zu.

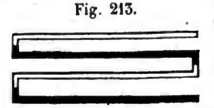
Nach Hankel's Versuchen ist die Stärke der thermoelektrischen Ströme, wenn ein jedes der im Folgenden erwähnten Metalle mit Eisen verbunden, und die eine Berührungsstelle bis zu 100° erhitzt, die andere durch Eis auf 0° erhalten wird;

Wismuth	und	Eisen	781	Blei	und	Eisen	119
Neusilber	,,	,,	244	Kupfer	,,	,,	116 und 106
Platin	,,	,,	152	Zink	,,	,,	89
Gold	,,	,,	151	Silber	,,	,,	86
Messing	,,	,,	127	Kupfer	,,	,,	84
Zinn	,,	,,	121	Antimon	,,	,,	257.

Die grösste Stärke zeigten diese Ströme bei Zink und Eisen bei 179°; bei Zinn u. E. bei 209°; bei Kupfer u. E. bei 211 und 230°; bei Gold u. E. bei 257°; bei Messing u. E. bei 294°; bei Blei u. E. wahrscheinlich zwischen 294 und 300°. Die Stärke dieser Ströme wird wieder = 0 bei Zink und Silber bei 194°; Zink und Kupfer bei 214°; Gold und Messing bei 280°; Zink und Eisen bei 315°; Kupfer und Eisen bei 338°; Silber und Eisen bei 369°; Gold und Kupfer bei 413°; Kupfer und Eisen bei 415°.

Mehrere thermoelektrische Elemente kann man zu einer zusammengesetzten thermoelektrischen Säule, einer Thermosäule, vereinigen. Eine solche, sehr empfindliche Säule wurde von Nobili construirt, welche aus einer Anzahl Stäbchen von Wismuth und Antimon besteht. Jedes Stäbchen Antimon ist mit einem Stäbchen Wismuth zu einem geraden Stabe zusammengelöthet und in der Nähe der Löthstelle jedes derselben rechtwinklig umgebogen. Mehrere solche Stäbe werden der Reihe nach mit ihren freien Enden zusammengelöthet (siehe Fig. 213), so dass nur vom ersten und letzten ein Ende frei bleibt, und die 1, 3, 5, 7 u. s. w. Löthstelle auf der einen, die 2, 4, 6, 8 u. s. w. Löthstelle auf der andern Seite sich befindet und folglich die einen oder die andern zugleich erwärmt oder erkaltet werden können. Da die Stäbe sich nur an den Löthstellen berühren dürfen, so füllt man die Zwischenräume zur Isolirung mit Gyps aus und bringt das Ganze in die Form eines compacten Bündels. An die freien Enden

Fig. 213.



der Säule bringt man endlich kleine Stifte an, die Pole der Säule, und verbindet mit diesen die Drahtenden eines Multiplicators. Durch eine solche Thermosäule ist man im Stande, die geringsten Temperaturunterschiede $\left(\frac{1}{6000}^{0}\right)$ bemerklich zu machen, und leistet daher bei Untersuchungen über die strahlende Wärme die vortrefflichsten Dienste. Melloni benutzte einen solchen Apparat, um die Gesetze der strahlenden Wärme zu erforschen (siehe unten strahlende Wärme). Man benutzt die Thermoelektricität ferner, um elektrische Ströme von constanter Stärke zu gewinnen, indem man, um einen solchen hervorzurufen, nur beständig die gleiche Temperaturdifferenz zu erhalten braucht. Die thermoelektrischen Ströme bringen alle Wirkungen hervor, die bei allen früher betrachteten Strömen beobachtet worden sind. Besonders wichtig erscheint die Kenntniss dieser Ströme, weil stets, wo in guten geschlossenen Leitern Temperaturunterschiede stattfinden, man das Vorhandensein elektrischer Ströme annehmen darf. Auf das Innere unseres Erdkörpers angewendet, lassen sich, bei der theilweisen Erwärmung desselben durch die Sonne, ebenfalls thermoelektrische Ströme vermuthen, welche höchst wahrscheinlich mit der Intensität des Erdmagnetismus in nahem Zusammenhange stehen.

Eine merkwürdige Erscheinung ist die Kälteerzeugung durch den elektrischen Strom. Peltier fand nämlich, dass ein Strom, der aus einem aus zwei verschiedenen Metallen zusammengesetzten Leiter strömt, bald Wärme, bald Kälte erzeugt. Die grösste Temperaturerhöhung ist stets da zu bemerken, wo der negative Strom aus einem guten Leiter in einen schlechten übergeht. Löthet man aber einen Stab von Wismuth und einen von Antimon so aufeinander, dass sie ein rechtwinkliges Kreuz bilden und macht an der Löthstelle ein Loch, das man mit Wasser ausfüllt, so erhält man durch schmelzenden Schnee die Stange auf einer Temperatur von 0°, welche Temperatur auch ein Thermometer für das Wasser in der Vertiefung der Lothstelle angiebt. Wird aber der Stab so zwischen die Pole eines Volta'schen Elementes eingeschaltet, dass der positive Strom vom Antimon zum Wismuth geht, so gefriert in kurzer Zeit das Wasser an der Löthstelle und das Thermometer zeigt — 3,5°.

Die Thermosäulen sind ausserdem angewendet worden zu mancherlei Temperaturbestimmungen, so zur Bestimmung der Temperatur in der Tiefe des Meeres (Becquerel), zur Bestimmung des Schmelzpunktes schwer schmelzender Metalle (Pouillet), zur

Bestimmung der inneren Lebenswärme von kaltblütigen Thieren und Pflanzen (Becquerel und Dutrochet); von diesen Gegenständen wird später die Rede sein.

Thermoelektricität der Krystalle (Krystallelektricität). Auch gewisse Krystalle haben die Eigenschaft, bei der Temperaturänderung Elektricität zu entwickeln. Diese Elektricität ist bei gleichen Temperaturgraden während der Erwärmung und während der Abkühlung gerade entgegengesetzt. Diese Eigenschaft wurde zuerst beim Turmalin bemerkt, welcher bekanntlich die Eigenschaft hat, nach dem Erwärmen leichte Körper anzuziehen und dann wieder abzustossen. Später entdeckte man dieselbe Eigenschaft auch am brasilianischen Topase und erkannte die Wärme als das erregende Princip; der polarisch entgegengesetzte Zustand wurde beim Erwärmen und beim Erkalten beobachtet. Zu den beiden Mineralien kamen später Axinit, Boracit, Mesotyp, Prehnit, Titanit, Rhodicit und das kieselsaure Zinkoxyd, Quarz, Schwerspath, Zucker, Weinsäure, weinsaures Kali-Natron und das neutrale weinsaure Kali. Nach Hankel, welchem wir unsere grösste Kenntniss über die Thermoelektricit der Krystalle verdanken, muss man bei diesen Mineralien zweierlei elektrische Axen unterscheiden, 1) solche, welche an den Endpunkten stets entgegengesetzt polarisch sind, und 2) solche, welche überall dieselbe Elektricität zeigen.

Bei dem Turmalin kennt man nur eine polarisch elektrische Axe, welche mit der krystallographischen Hauptaxe zusammenfällt; ein Gleiches gilt von dem kieselsauren Zinkoxyd und dem Mesotyp. In den Bergkrystallen von Striegau in Schlesien fand Hankel sechs Pole, oder drei an ihren Enden polarisch entgegengesetzte elektrische Axen. Im Axinit fanden G. Rose und Riess vier Pole, von denen die gleichnamigen sich einander gegenüber liegen. Der Boracit wird durch Erwärmen an acht verschiedenen Punkten, welche die Ecken der rhomboëdrischen Axen sind, elektrisch; einige derselben nehmen positive, die entgegengesetzten negative Elektricität an. Hankel fand, dass diese Pole ihre Elektricität beim Erwärmen zweimal wechseln, und ebenso entsprechend beim Abkühlen. Beim Titanit fand H. vier Pole, von denen zwei gleiche sich stets gegenüber liegen; sie zeigen beim Erwärmen und beim Abkühlen einen Wechsel der Elektricität, wie ihn der Boracit zweimal zeigt.

Thierelektricität.

Zieht man in Betracht, auf welche verschiedene Weise das elektrische Gleichgewicht in den Körpern gestört wird, so erleidet es keinen Zweifel, dass auch in lebenden Organismen Elektricität erregt werde. Es ist bekannt, dass die Haare von Katzen,

Pferden u. s. w. ohne äussere Veranlassung so viel Elektricität erregen, dass sie sich sträuben und in die Höhe steigen. Verbindet man das eine Drahtende eines empfindlichen Galvanometers mit dem Kopfe, das andere mit den Füssen eines lebendigen oder eben getödteten Frosches, so giebt die Ablenkung der Nadel einen elektrischen Strom zu erkennen. Man hat beobachtet, dass Pflanzen während der Epoche ihres intensivsten Lebens Funken geben und Pouillet hat selbst die bei der Vegetation sich entwickelnde Elektricität bestimmt. Am interessantesten ist jedoch die Elektricitätserregung bei gewissen Fischen, welche zu diesem Behufe mit besonderen Organen versehen sind. Die hauptsächlichsten dieser elektrischen Fische sind

1) Der Zitterrochen (*Raja Torpedo*), der schon im Alterthume bekannt war und sich im mittelländischen Meere und im atlantischen Ocean findet;

2) der Zitteraal (*Gymnotus electricus*), welcher durch Richer in Cayenne bekannt wurde, findet sich in den Landseen von Südamerika, besonders in Guyana;

3) der Zitterwels (*Silurus electricus*), von Adanson im Senegal und bei der letzten Nigerexpedition auch im Niger gefunden;

4) der *Tetrodon electricus*, 5) der *Trichiurus electricus*, 6) der *Rhinobatus electricus*, von welchen die elektrischen Wirkungen noch so gut wie unbekannt sind. Diese Fische haben die Eigenschaft, willkürlich elektrische Schläge ertheilen zu können, welche denen der Leidner Flasche oder der Säule ähnlich sind.

Der Zitterrochen. Das elektrische Organ dieses Fisches nimmt etwa den dritten Theil der Länge desselben ein. Dieses Organ besteht aus senkrechten Säulen von der Dicke eines Gänsekieles, welche durch horizontale Scheidewände in parallele Flächen getheilt und von zahlreichen Nerven durchflochten sind. In der Luft ertheilt der Zitterrochen einen Schlag, wenn man irgend einen Theil seiner Haut berührt; einen gleichen Schlag erhält man beim Berühren mit einem Metallstab, nicht aber mit einem Glas- oder Harzstab. Bilden mehrere Personen eine Kette, von denen die erste den Leib des Fisches, die andere den Schwanz anfasst, so erhalten alle einen Schlag; dieser Schlag ist noch in einer Kette von zwanzig Personen wahrzunehmen. In dem Wasser sind die Schläge minder stark als in der Luft, können jedoch in der Ferne wirken, woher es kommt, dass ein Zitterrochen auf einige Entfernung hin kleine Fische betäubt oder tödtet. Die Kraft des Schlages eines Zitterrochens ist mit der eines Zitteraales nicht zu ver-

gleichen, obgleich selbst starke Personen den Schlag eines kräftigen Zitterrochens kaum zu ertragen vermögen. Es findet bei demselben die auffallende Thatsache statt, dass man einen Schlag erhält, selbst wenn man den Fisch nur mit einer Hand anfasst. Die Thatsache, dass man beim Hineinfassen ins Wasser an einer Stelle, in deren Nähe sich ein Zitterrochen befindet, einen Schlag erhält, erklärt sich durch unvollständige Isolation, giebt aber auch einen Beweis von der grossen Spannung der Elektricität. J. Davy hat zuerst nachgewiesen, dass die Elektricität des Zitterrochens mit der Reibungs- und Volta'schen Elektricität identisch sei.

Der Zitteraal. Das elektrische Organ desselben liegt in dem sehr langen Schwanze. Bei diesem Thiere liegt der After so weit nach vorn, dass der Schwanz desselben fast $4\frac{1}{2}$ mal so lang ist, als Kopf und Rumpf zusammen; das elektrische Organ liegt fast der ganzen Länge des Schwanzes nach auf jeder Seite und unterhalb desselben, so dass dasselbe eine bedeutende Ausdehnung hat. Dies ist der Grund, warum der Zitteraal Schläge ertheilen kann, die selbst ein Pferd zu tödten im Stande sind. Der Schlag des Zitteraales kann sich von einem Leiter zu einem anderen Leiter durch eine dünne Luftschicht fortpflanzen, in welchem Falle man einen Funken überspringen sieht.

Den Zitterrochen kann man sich vorstellen als eine einfache Kette, in welchem das Innere die Flüssigkeit, seine obere und seine untere Seite die beiden Metalle ausmacht. Die obere Seite entspricht der Kupfer-, die untere der Zinkplatte. Der nächste Punkt an den Organen giebt dem Draht positive oder negative Elektricität, je nachdem man mit dem Rücken oder mit dem Bauche experimentirt. Bei dem Zitteraale geht der Strom von dem Schwanze nach dem Kopfe; hier ist mithin der Fisch eine Volta'sche Kette, das Innere ist die Flüssigkeit, die Kupferplatte am Vordertheil, die Zinkplatte am Schwanze.

Unsere Kenntniss der thierischen Elektricität, die sich eigentlich nur auf eine etwas genauere Kenntniss des elektrischen Verhaltens mehrerer Fische beschränkte, sind in der neuesten Zeit durch die sinnreichen und glücklichen Untersuchungen von Du Bois-Reymond ausserordentlich vermehrt worden. Dieser Physiker hat nämlich die merkwürdige Entdeckung gemacht, dass **im thierischen Körper nach Willkühr, durch blosse Anstrengung der Muskeln elektrische Ströme erzeugt werden können.** Zu diesem Behufe verbindet man die Enden eines langen Multiplicatordrahtes mit Platinstreifen von durchaus gleichartiger Beschaffenheit und taucht

dieselben in zwei, Salzwasser enthaltende Gefässe. Wenn dann ein gleichnamiger Finger jeder Hand in eines dieser Gefässe eingetaucht, und sobald die Galvanometernadel ruhig ist, der eine Arm möglichst nachhaltig angestrengt wird, entsteht ein elektrischer Strom, in der Richtung von der Hand nach der Schulter. Je nachdem die Muskeln des einen oder des anderen Armes angezogen werden, ist die Ablenkung der Nadel eine entgegengesetzte. Das Gelingen des Versuchs erfordert ein ausserordentlich empfindliches Galvanometer und die grösste Sorgfalt im Experimentiren, weil anscheinend unbedeutende Veranlassungen, wie z. B. die kleinste Verletzung an einem der eingetauchten Finger, die Erscheinungen verderben können. Der Einfluss solcher Zufälligkeiten vermindert sich und der Versuch gelingt mit einem weniger empfindlichen Galvanometer, wenn derselbe von einer grösseren Anzahl Personen ausgeführt wird, die sich mit befeuchteten Händen zu einer Kette verbinden, deren beide Endglieder, je durch eines Fingers Eintauchen in Salzwasser den Einschluss des Galvanometerdrahtes bewerkstelligen. Alle Personen spannen dann gleichzeitig einen gleichnamigen Arm.

Atmosphärische Elektricität.

Unter der atmosphärischen Elektricität versteht man die Gesammtheit der elektrischen Erscheinungen in der Atmosphäre. Nachdem Franklin nachgewiesen hatte, dass im Gewitter Elektricität thätig sei, ist die Frage über den Ursprung der atmosphärischen Elektricität ein Problem geworden, dessen Lösung von vielen versucht worden ist. Lange Zeit war man der Ansicht, dass die Verdampfung des Wassers, namentlich des Meerwassers, eine reiche Quelle der Elektricität sei. Durch neuere Versuche von Riess (vergl. S. 239) ist aber nachgewiesen worden, dass eine Elektricitätserregung durch blosse Dampfbildung nicht nachweisbar sei und dass z. B. die bei den Armstrong'schen Dampfmaschinen entwickelte Elektricität nicht eine Folge der Dampfentwickelung, sondern der Reibung von Flüssigkeitstheilchen an den Gefässwänden sei. Einen weiteren Grund der atmosphärischen Elektricität sucht Pouillet in der Vegetation. Keimende Pflanzen sollen am Condensator negative Elektricität geben, die von den Pflanzen entwickelten Gase dagegen positive. Andere Beobachter konnten aber bei dem Keimungs- und Wachsthumsprocesse verschiedener Pflanzen keine sichern Anzeichen dabei entwickelter Elektricität erhalten. Aus dem allen geht hervor, dass die Ur-

sache der atmosphärischen Elektricität noch keineswegs festgestellt ist.

Der Blitz. Die Bemerkung von Wall, dass der aus einem geriebenen Stück Bernstein hervorbrechende Funke einigermassen Blitz und Donner vorstelle, wurde von B. Franklin zur Gewissheit erhoben, welcher im Jahre 1752 vermittelst eines elektrischen Funkens nachwies, dass die unter dem Namen Blitz bekannte, in den Gewitterwolken hervortretende, mit Geräusch verbundene Lichterscheinung elektrischer Art sei. Dass die Elektricität des Blitzes dieselbe wie die durch Reibung, Berührung u. s. w. erzeugte sei, geht daraus hervor, dass der Blitz metallische Leiter erwärmt und schmilzt, Körper zersprengt, welche einen grössern Leitungswiderstand darbieten, die Pole horizontaler Boussolenadeln umkehrt, wenn er mehr oder minder senkrecht herabfährt und eiserne Geräthschaften in Magnete verwandelt. Aus der Zeit zwischen Blitz und Donner erfährt man durch die bekannte Schallgeschwindigkeit den Abstand der Entzündungsstelle des Beobachters und daraus durch den Höhenwinkel derselben ihre absolute Höhe. Der Blitz ist nichts anderes, als eine gleichzeitig zwischen einer ganzen Reihe von geladenen Körpern vor sich gehende Entladung. Der erstere Körper ist im Allgemeinen eine Wolke, der letztere die feuchte Erde.

Arago theilt die Blitze ein in 3 Klassen: 1) zickzackförmige mit scharf begrenzten Rändern; 2) Blitze, welche grössere Theile der Wolken oder diese ganz erleuchten, am bezeichnendsten ist diese Form, von welcher man sagt: die Wolken öffnen sich; 3) Blitze in der Form von Feuerkugeln, die sich langsamer bewegen, als die drei ersten Klassen, welche momentan erscheinen. Blitze ohne Donner aus nahen Wolken sind öfters beobachtet worden, doch sind es gewöhnlich Blitze entfernter Gewitter. Da man auch den lautesten Donner nicht eine deutsche Meile weit hört, so ist die Häufigkeit dieser Erscheinung erklärlich. Eine besondere Art von Blitzen bilden die zickzackförmigen, welche bei vulkanischen Ausbrüchen ununterbrochen, besonders in dem Aschenauswurfe sich zeigen. Die unter dem Namen Rückschlag bekannte Erscheinung, dass ein von dem Ende einer Gewitterwolke herabfahrender Blitz einen zweiten von der Erde nach dem andern Ende der Wolke hin hervorruft, ist auf die Vertheilungsphänomene der Elektricität zurückgeführt worden. Da der Blitz Leiter sucht, so ist die Erfahrung, dass metallreiche Gegenden besonders von häufigen Blitzschlägen betroffen werden, nicht auffallend.

Um Gebäude vor den zerstörenden Wirkungen des Blitzes zu

schützen, dient der von Franklin erfundene Blitzableiter, unter welchem man eine ununterbrochene leitende Verbindung der höchsten Theile eines Gebäudes mit dem Erdboden versteht, welche dazu bestimmt ist, einen das Gebäude treffenden Blitz ohne Explosion an demselben herabzuführen. Diese Ableitung besteht entweder aus Bleistreifen, die auf Holz gemacht sind oder aus gut überfirnissten Eisenstangen, die sich aber in einer zugespitzten Metallstange endigt, deren oberer Theil vergoldet oder mit Platin überzogen ist, um das Rosten zu verhüten. An dem unteren Ende der Ableitung befindet sich eine Metallplatte, die in feuchtem Erdreich eingegraben oder in einen Brunnen getaucht ist.

Wenn der Blitz in Sandboden schlägt, so findet man senkrechte, mitunter bis 40° geneigte Röhren, welche sich häufig in der Tiefe verästeln und ihrer ganzen Lage nach inwendig mit einer glasartigen, hyalitartigen Masse versehen sind, die so hart ist, dass sie Glas ritzt und am Stahl Feuer giebt. Sie sind ein unmittelbares Product einer durch den Blitz bewirkten Schmelzung oder Verglasung, obgleich Rose angiebt, dass die Entstehung der sogenannten Blitzröhren durch den Blitz nicht historisch begründet sei, sondern dass dieselben vielmehr, anderen röhrenartigen Concretionen in sandigem Terrain analog, d. h. durch an Wurzelwerk herabrinnendes Wasser nach und nach entstanden seien.

Der Donner, der fast fortwährende Begleiter des Blitzes ist eine Folge der abwechselnden Ausdehnung und Zusammenziehung der Luft. Denkt man sich ein mehr oder minder Materielles so schnell fortbewegend, dass es hinter sich einen luftleeren Raum erzeugt, so muss die Luft mit Geräusch in den leeren Raum einströmen. Man kann sich ferner vorstellen, dass durch die grosse Menge von Wasserdampf dieser leere Raum momentan erzeugt werde. Das lange anhaltende Rollen erklärt sich, abgesehen vom Echo, aus der gleichzeitigen Erregung der elektrischen Explosion in einer viele Tausend Fuss langen Strecke, so dass der Schall von den verschiedenen Punkten, welche die Bahn beschreibt, nicht zu derselben Zeit unser Ohr erreichen kann.

Zu den Erscheinungen der atmosphärischen Elektricität rechnet man ferner das Nordlicht, das sich in der nördlichen Erdhälfte, in der Richtung nach Norden, zeigt. Eine ähnliche Erscheinung ist unter den entsprechenden Breiten der südlichen Halbkugel in der Richtung nach Süden sichtbar und wird Südlicht genannt. Beide Erscheinungen umfasst man gewöhnlich mit dem Namen Polarlichter. Man ist bis jetzt noch nicht im Stande,

das Nordlicht auf genügende Weise zu erklären. Sie zeigen in ihrem Ansehn, ihrer Lichtstärke, in ihrer Lage am Himmel und in ihrer Häufigkeit an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten sehr bedeutende Unterschiede. Das Polarlicht besteht in Lichtbüscheln, die von einer Stelle am nördlichen Horizonte sich gegen das Zenith zu bewegen scheinen und wird besonders in den nördlichen Gegenden häufig gesehen, was sogar zur Erhellung der langen Nächte beiträgt. Viele Beobachter finden eine grosse Aehnlichkeit des Polarlichtes mit dem Ausströmen der Elektricität im luftverdünntem Raume.

Nach Halley ist das Polarlicht eine magnetische Erscheinung. v. Humboldt (Kosmos, I, p. 198) ist derselben Ansicht. Derselbe sagt: Es giebt Vorboten des Nordlichtes. Bereits am Morgen vor der nächtlichen Lichterscheinung zeigt gewöhnlich der unregelmässige Gang der Magnetnadel eine Störung des Gleichgewichtes in der Vertheilung des Erdmagnetismus an. Hat diese Störung ihr Maximum erreicht, so wird das Gleichgewicht durch eine von Lichtentwicklung begleitete Entladung wieder hergestellt. Das Polarlicht ist der Act der Entladung, das Ende eines magnetischen Ungewitters, ebenso wie in dem elektrischen Ungewitter ebenfalls eine Lichtentwickelung, der Blitz, die Wiederherstellung des gestörten Gleichgewichtes in der Vertheilung der Elektricität zeigt. Alle die Kraftäusserungen des Erdmagnetismus, Declination, Inclination und Intensität werden zu gleicher Zeit von dem Polarlichte verändert.

Quellen der Elektricität.

Angenommen, dass die Elektricität nur direct durch die Trennung der neutralen Elektricitäten sich entwickeln könne, so dass mit der Erzeugung positiver Elektricität sich auch stets negative bilde, giebt es folgende bis jetzt bekannte Mittel, um diese Trennung zu bewerkstelligen:

1) Das am längsten bekannte Mittel, Elektricität zu erregen, ist das durch Reibung. Wenn man zwei ungleichartige Körper gegeneinander reibt, so sammelt sich auf dem einen positive, auf dem andern negative Elektricität, welche Elektricitäten nur dann auf den Körpern haften bleiben, wenn die geriebenen Körper Nichtleiter oder isolirte Leiter sind. Ein und derselbe Körper kann mit einem zweiten positive, mit einem dritten negative Elektricität annehmen und alle Körper lassen sich dergestalt ordnen, dass jeder mit jedem der folgenden gerieben positive Elektricität, mit jedem der vorhergehenden gerieben negative Elektricität zeigt. Diese Ordnung nennt man die Ordnung in der Spannungsreihe. Fragmente dieser Reihe sind: Katzenfell, polirtes Glas, Wollenzeug, [illegible]lern, Holz, Papier, Seide, Schellack, mattes Glas. Ein Gesetz

in der Spannungsordnung aufzufinden, ist bis jetzt noch nicht gelungen.

Die Mittel, sich durch Reiben Elektricitätsmengen zu verschaffen, sind die Elektrisirmaschine, der Elektrophor und die Maschine von Armstrong.

Der innere Grund der Elektricitätsentwickelung durch Reibung ist nicht bekannt. Der Umstand, dass sich beim Reiben ein eigenthümlich phosphorartiger Geruch verbreitet (**der davon herrührt, dass durch die freiwerdende Elektricität der Sauerstoff der umgebenden Luft in einen allotropischen Zustand, in Ozon, übergeführt wird**) und dass das Amalgam auf den Reibzeugen ein leicht oxydirbarer Körper sein muss, veranlasste zwar die Annahme, dass die Reibung einen Oxydationsprocess einleite und dass dieser die eigentliche Quelle der Entwickelung der Elektricität sei. Versuche aber zeigten, dass auch in kohlensaurem Gas, in Wasserstoffgas u. s. w. Elektricität durch Reibung entwickelt werde. Die wahrscheinlichste Ansicht scheint die zu sein, nach welcher die durch Reibung bewirkte Molekularbewegung die erste Quelle der Elektricität sei.

2) Druck. Von zwei gegeneinander gedrückten ungleichartigen Körpern wird der eine positiv, der andere negativ elektrisch. Becquerel befestigte Scheibchen von den zu prüfenden Substanzen mittelst Siegellack an Glasstäben und bemerkte eine Erregung von Elektricität selbst an weichen Substanzen, wie Kork, Kautschuk, Terpentin u. s. w. Die Stärke der Elektricität schien mit der Stärke des Druckes zu wachsen.

3) Aufhebung der Cohäsion. Wenn man krystallinische Substanzen, namentlich solche, die sich blättern, auseinander reisst, so zeigen sich beide Hälften entgegengesetzt elektrisch. Spaltet man im Dunkeln ein Glimmerplättchen, so zeigt sich ein lebhaftes Licht, dasselbe ist bei Gips, Kreide, Zucker u. s. w. zu beobachten. Nach Dumas zeigt Borsäure, die in einem Platintigel geschmolzen worden ist, darauf aber erstarrt und Sprünge bekommt, an jedem Sprunge ein lebhaftes Licht, das selbst am Tage zu bemerken ist.

4) Uebergang aus einem Aggregatzustand in einen andern. Bei der Krystallisation der Salze aus ihren wässrigen Lösungen bemerkt man zuweilen auffallende blitzähnliche Erscheinungen. Man beobachtet dies beim schwefelsauren Kali (Pickel), beim schwefelsauren Kobaltoxydul-Kali (Herrmann), beim Fluornatrium (Berzelius); ebenso bemerkt man Funken, wenn ein Körper aus dem amorphen Zustande in den krystallisirten übergeht.

Löst man amorphe arsenige Säure in Salzsäure und lässt diese Lösung krystallisiren, so bemerkt man bei jeder Bildung eines Krystalles eine Lichterscheinung. Wenn man schwefelsaures Kali und schwefelsaures Natron in dem Verhältnisse der Aequivalente zusammenschmilzt, und die zusammengeschmolzene amorphe Masse in siedendem Wasser löst, so scheiden sich beim Erkalten ebenfalls Krystalle unter Lichterscheinung ab. Das schönste Funkensprühen aber bemerkt man, wenn man Benzoësäure, die aus Benzoëharz mittelst kohlensauren Natrons ausgezogen worden ist, mit 1/4 Kohle mengt und aus einem Porcellanteller in eine darüber gestürzte Glasglocke aufsublimirt.

5) Berührung. Von zwei sich berührenden heterogenen Körpern wird der eine positiv, der andere negativ elektrisch (Volta'sche oder Berührungselektricität).

6) Temperaturdifferenz. Von zwei sich berührenden Metallen, welche ungleich die Wärme leiten und an der Berührungsstelle erwärmt werden, erweist sich das eine in seinen Wirkungen positiv, das andere negativ elektrisch (Thermoelektricität). Gewisse Krystalle, von einer Seite aus erwärmt, zeigen an bestimmten Stellen beide Elektricitäten (Krystallelektricität).

Riess und Rose nennen einen Pol, der durch Erwärmen positiv, durch Erkalten negativ wird, einen analogen; jenen, der durch Erkalten positiv, durch Erwärmen negativ wird, einen antilogen.

7) Bewegung eines Magneten erzeugt in nahen Leitern eine Elektricitätsvertheilung oder Induction (Magnetoelektricität.)

8) Die Bewegung eines von Elektricität durchflossenen Leiters übt eine ähnliche Wirkung aus, wie die Bewegung eines Magneten.

9) Wo chemische Verwandtschaft, Vereinigung oder Scheidung stattfindet, tritt jederzeit Elektricität ins Spiel.

10) Der Lebensprocess, (elektrische Fische, Contraction der Muskeln nach Du Bois-Reymond) ist ebenfalls eine Quelle der Elektricität.

Anhang zur Elektricität.

Des allgemeinen Interesses wegen besprechen wir in einem besondern Abschnitte die Anwendung der strömenden Elektricität zur elektrischen Telegraphie, zu den sogenannten galvanischen Uhren und als bewegende Kraft.

Die elektrische Telegraphie.

Die Eigenschaften des elektrischen Stromes:

1) sich mit ungeheurer Geschwindigkeit fortzupflanzen,

2) weiches Eisen temporär magnetisch zu machen,

3) eine Magnetnadel aus ihrer Gleichgewichtslage abzulenken,

sind mit dem glänzendsten Erfolge zum Telegraphiren d. h. zum Geben verständlicher Zeichen in die weitesten Entfernungen hin angewendet worden. Innerhalb zweier Jahrzehnte hat dieses in seinen Leistungen ans Wunderbare grenzende Correspondenzmittel fast alle Stadien seiner Entwickelung durchlaufen und ist gegenwärtig auf einem Höhenpunkte angelangt, auf welchem es die Bewunderung aller Kenner erregt und den Nichtkenner mit Staunen erfüllt. Das neue System hat seine metallischen Adern über den grössten Theil von Mitteleuropa ausgebreitet und befördert ohne Aufhören mit der Schnelle des Blitzes und der Sicherheit einer schreibenden Hand die Nachrichten von Stadt zu Stadt, von Land zu Land. Ist der projectirte Draht zwischen England und Nordamerika vollendet, so wird keine Entfernung mehr, wird weder Land noch Meer dem Austausche der Gedanken zwischen den Hauptstädten der Welt ein Hinderniss darbieten.

Jeder elektrische Telegraph besteht aus drei wesentlichen Theilen:

1) dem Apparate, welcher den elektrischen Strom hervorruft;

2) dem Leitungsdrahte, einem isolirten Metalldrahte, welcher die Stationen untereinander verbindet, und in sich selbst zurückkehrt;

3) den Apparaten, welche dazu dienen, die telegraphischen Zeichen zu geben und zu empfangen; den ersteren Apparat nennt man den Communicator oder Zeichengeber; den zweiten den Indicator oder Zeichenbringer.

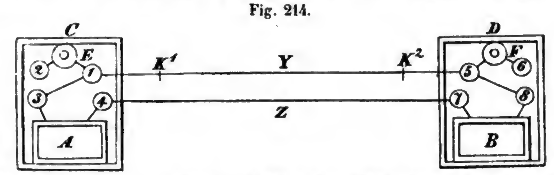
Die Apparate, welche den elektrischen Strom hervorrufen, sind gewöhnlich hydroelektrische Ketten; am häufigsten wendet man die Smee'sche Batterie an (vergl. S. 255), da dieselbe einen quantitativ starken und anhaltenden Strom liefert. In der neueren Zeit wendet man jedoch auch Inductionselektricität zur Erzeugung des Stromes an und benutzt dazu den von Stöhrer construirten Fig. 207, Seite 294 abgebildeten Rotationsapparat.

Die Batterie zeigt den Vortheil, dass man über grössere Kräfte disponirt und die Zeichen stärker und schneller hinter einander geben kann. Die Unterhaltung der Batterie, ihre täglich wiederkehrende Reinigung und die Ungleichheit ihres Ganges sind aber grosse Uebelstände. Bei Stöhrer's Rotationsapparat ist die Einrichtung getroffen, dass eine über den Magnet gelegte eiserne Armatur denselben zum Theil neutralisirt, so dass der durch Induction erzeugte elektrische Strom nur zum Theil benutzt wird. Dieser Ueberschuss ist aber hinreichend, um einen 10—20 Meilen langen Draht zu durchdringen und das Telegraphiren zu bewirken. Tritt der Fall ein, dass durch atmosphärische Einflüsse der Leitungswiderstand bedeutender oder die Ableitung des elektrischen Stromes in den Erdboden stärker wird, so kann man einen verstärkten Strom dadurch hervorbringen, dass man die erwähnte Armatur abnimmt. Es ist zu erwarten, dass bei zweckmässiger Construction der Inductionsrollen es dahin gebracht werden wird, dass der Rotationsapparat alle galvanischen Batterien ersetzt.

Der Leitungsdraht. Das Leitungsvermögen der einzelnen Metalle ist ein sehr verschiedenes (vergl. S. 299). Bei einem und demselben Leiter nimmt die Stromstärke direct mit dem Querschnitte zu, aber mit der Länge ab. Da bei den Telegraphenleitungen die Drähte eine beträchtliche Länge haben, so kann des Gewichtes und der Kosten wegen ihr Querschnitt nicht beträchtlich genommen werden und man sucht die erforderliche Stromstärke durch Vergrösserung des Kraftapparates zu erzeugen. Von den Metallen können nur Kupfer und Eisen als Material zum Schliessungsdraht in Betracht kommen. Das Verhältniss des Leitungsvermögens von Kupfer und Eisen ist ungefähr wie 6 : 1 (nimmt man das Leitungsvermögen des Quecksilbers als Einheit an, so ist das des Eisens 6,5, das des Kupfers 38,3). Da nun ein Eisendraht dem Strome einen sechsmal grösseren Widerstand darbietet, als ein Kupferdraht von derselben Länge und demselben Querschnitte und nach dem Ohm'schen Gesetze (vergl. Seite 300), dann auch die Intensität des Stromes in der Eisenleitung sechsmal schwächer als in der Kupferleitung ist, ausserdem die leichte Oxydabilität des Eisens nachtheilig einwirkt, so wendet man allgemein Kupfer als Material zum Leitungsdrahte an. Derselbe muss hinreichend isolirt sein. Man verbindet den Draht von der ersten Station aus bis

zur zweiten Station hin, nach welcher telegraphirt werden soll. Der Draht geht von der letzten Station wieder zur ersten zurück. Man spricht deshalb von zwei Leitungen, einer Hin- und einer Zurückleitung. Die Drähte werden entweder frei in der Luft über die Spitzen eingegrabener Holzpfähle ausgespannt (oberirdische Leitung), oder unter der Erde fortgeleitet. Im letzteren Falle sind die Drähte mit einem isolirenden, durch die Erdfeuchtigkeit nicht leidenden Ueberzuge versehen. Jetzt wendet man allgemein zum Ueberziehen der Leitungsdrähte vulcanisirte (d. h. mit Schwefel getränkte) Gutta-Percha an, und gräbt die Leitung zwei Fuss tief in die Erde ein. Steinheil reducirte die Drahtleitung auf die Hälfte, indem er das feuchte Erdreich als Leiter benutzte; indem Steinheil den richtigen Schluss zog, dass der Widerstand, den ein Halbleiter dem Strome entgegensetzt, um so kleiner wird, je grösser seine Durchschnittsfläche ist, und dass man diese Durchschnittsfläche nach Belieben gross machen kann, wenn man die Enden des Leitungsdrahtes unter der Erde in grosse Metallplatten auslaufen lässt. Dadurch wird der Widerstand der Erde verschwindend klein gegen den Widerstand in dem Metalldrahte. Bei dieser Art der Leitung (der Bodenleitung) zieht man nur von dem einen Pole des galvanischen Apparates einen Leitungsdraht zur zweiten Station. Hier befestigt man an seinem Ende eine grosse Kupferplatte, die man in die Erde eingräbt. Den andern Poldraht führt man auf der ersten Station, auf der sich der galvanische Apparat befindet, nur bis zur Erde und löthet hier ebenfalls eine Kupferplatte an, die eingegraben wird. Der elektrische Strom geht nun durch den Draht, durch die eine Kupferplatte, dann auf die weitesten Entfernungen hin durch den Boden, darauf in die zweite Kupferplatte und von da durch den daran befestigten Draht wieder in die Batterie zurück. Nachstehende Zeichnung (Fig. 214) mag die Leitung des Stromes

Fig. 214.



veranschaulichen. *C* und *D* seien zwei aufeinander folgende Stationen der Telegraphenlinie. Auf einer jeden dieser Stationen befinden sich galvanische Apparate und ein Signalapparat. *E* und *F*

stellen die galvanischen Apparate, *A* und *B* die Signalapparate vor. Wenn der auf der einen Station abgehende elektrische Strom auf der andern Zeichen geben soll, so müssen sich offenbar abwechselnd der galvanische Apparat *E* der Station *C* mit dem Signalapparate der Station *D*, und umgekehrt die Batterie *F* mit dem Signalapparate *A* schnell in Verbindung setzen lassen. Dies geschieht durch die mit den Batterien und Signalapparaten auf die in der Zeichnung angedeutete Weise leitend vereinigten Quecksilbernäpfchen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 und 8, von denen die Näpfchen 1, 5 und 4, 7 durch die von der einen Station zur andern gehenden Leitungsdrähte *Y* und *Z* verbunden sind. Bei der Verbindung von 1 mit 3, dann von 5 mit 8, wie sie in der Zeichnung dargestellt ist, sind nun die Signalapparate leitend vereinigt, die Batterien aber nicht geschlossen, daher ausser Thätigkeit, wie dies stets der Fall ist, wenn nicht telegraphirt wird. Hebt man den Draht 1, 3 aus, und verbindet dafür die Näpfchen 2, 4, so ist die Batterie *E* durch die Leiter *Y* und *Z* und durch den Signalapparat *B* geschlossen und es kann von der Station *C* nach der Station *D* hin telegraphirt werden. Hebt man dagegen den Draht 5 und 8 aus, und verbindet dafür den Napf 6 mit dem Napfe 7, so ist die Kette *F* durch die Leiter *Y* und *Z* geschlossen, und man kann von der Station *D* nach der Station *C* hin telegraphiren. Dieser Wechsel von Verbindungen ist ausreichend, wenn es sich nur um Erregung und Unterbrechung eines Stromes handelt; es ist aber auch nothwendig, dass, wie es bei denjenigen Telegraphen der Fall ist, welche auf einer Ablenkung der Magnetnadel bald nach der einen, bald nach der andern Seite hin beruhen, die Richtung des Stromes umgekehrt werde, so müssen sich die Poldrähte *abcd* gegen die Näpfe 1, 2 und 5, 6 verwechseln lassen. Soll einer der Leitungsdrähte durch die Erde ersetzt werden, z. B. *Y*, so bricht man den Draht ganz in der Nähe der Batterie (ungefähr bei den Stellen $K' K^2$) ab und senkt die Enden dieser Drähte, mit Kupferplatten verbunden, in die Erde.

Die Apparate, welche dazu dienen, die durch den elektrischen Telegraphen hervorgebrachten Zeichen zu geben und zu empfangen, beruhen auf der gegenseitigen Einwirkung von Magnetismus und Elektricität, die eine Bewegung zur Folge hat, welche geeignet ist, als mechanische Kraft Zeichen hervorzubringen. Wie schon angedeutet, ist die benutzte Wechselwirkung doppelter Art. Entweder erzeugt man durch den Strom nur temporär in weichem Eisen Magnetismus, wodurch anderes Eisen angezogen und die Bewegung hervorgebracht wird, oder man bewegt constante Stahlmagnete durch den elektrischen Strom. Er-

stere Telegraphen nennt man elektromagnetische Telegraphen, letztere Nadeltelegraphen. Fast alle jetzt angewendeten Telegraphen lassen sich in eine der folgenden Classen bringen:

I. Classe: der amerikanische oder der Morse'sche Drucktelegraph;

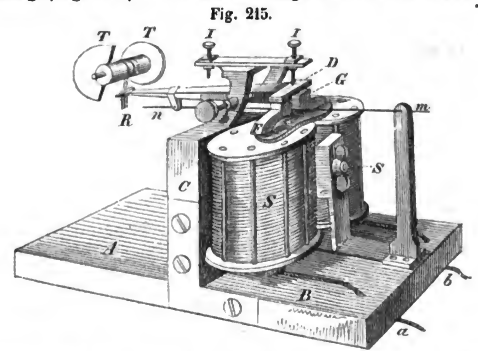
II. Classe: der Nadeltelegraph;

III. Classe: der Zeigertelegraph.

Wir führen im Folgenden von einer jeden dieser Classen ein Beispiel an.

I. Der amerikanische oder Morse'sche Druckapparat giebt nur zwei Elementarzeichen, einen Punkt und eine gerade Linie. Beide Zeichen bedeuten in ihrer verschiedenartigen Gruppirung die Buchstaben und Ziffern, und werden auf einem mittelst eines Uhrwerkes abrollenden Papierstreifen abgedruckt. Die Zeichen werden mittelst eines Elektromagneten gegeben. Der Signalapparat hat folgende, durch die Zeichnung anschaulich gemachte Einrichtung (Fig. 215). Der Elektromagnet ruht auf einem hölzer-

Fig. 215.



nen Gestelle *ABC*. *a* und *b* deuten die Enden des Drahtes an, der auf die beiden Rollen *SS* aufgewickelt ist. In der Mitte dieser Rollen befinden sich die beiden Eisenstäbe *F* und *G*. Ist die Kette geschlossen, so werden die beiden Eisenstäbe *F* und *G* magnetisch, und ziehen eine über den Stäben befindliche Eisenplatte an sich, indem die magnetische Kraft den Zug der Feder *mn* überwindet, und ihr Ende *R* schlägt mit daselbst angebrachten Stiften in ihnen

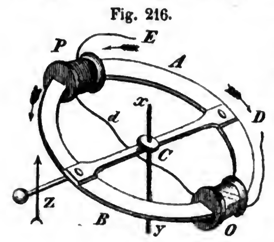
gegenüberliegende Furchen der Rolle *TT*. Wird die Kette geöffnet, so verliert das Eisen seinen Magnetismus und das Ende *R* wird von der Feder sogleich wieder zurückgeworfen. Durch die Schrauben *II* wird die Weite der Hebelbewegung auf passende Weise regulirt. Das in der Zeichnung nicht angegebene Uhrwerk rollt mit gleichmässiger Geschwindigkeit einen Papierstreifen auf. Drückt der Telegraphirende den Hebelarm des zum Telegraphiren bestimmten Schlüssels nur einen Augenblick nieder, so schlagen die Stifte bei *R* drei neben einander liegende Punkte in das Papier, wie wenn man mit einer Stricknadel in ein etwas hohl gelegtes Papier einen Eindruck macht, fallen aber sogleich durch den Druck der Feder zurück. Drückt dagegen der Telegraphirende den Schlüssel eine Zeit lang nieder, so bleiben auch ebenso lange die Stifte an das Papier angedrückt und zeichnen jetzt, weil das Papier während dieser Zeit durch das Uhrwerk fortgezogen wird, vertiefte Linien statt der Punkte in das Papier. Diese Punkte und Striche sind die Zeichen, durch deren Combination die Buchstaben gebildet werden. Das Instrument, mit welchem man bei allen telegraphischen Apparaten den Strom nach Belieben abbricht oder wiederherstellt, heisst der **Schlüssel**.

Ein Alphabet des Drucktelegraphen.

A . —	H	P	W . — —	4 . . . . —
B — . . .	I . .	Q . . — .	X . — . .	5 — — —
C . . .	K — . —	R . . .	Y . . .	6 . . . . . .
D — . .	L ——	S . . .	Z	7 — — . .
E .	M — —	T —	1 . — — .	8 — . . .
F . — .	N — .	U . . —	2 . . — — . .	9 — . . —
G — — .	O . .	V . . . —	3 . . . — .	

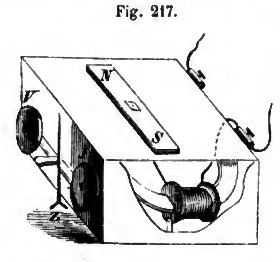
II. **Der Nadeltelegraph.** Der Signalapparat hat bei diesem Telegraphen folgende Einrichtung (Fig. 216). *A* und *B* sind zwei halbkreisförmige, in einer Horizontalebene liegende Stahllamellen, die an dem Messingstücke *ABC* befestigt sind und sich mit diesem um eine Verticalaxe *xy* leicht bewegen lassen. Diese Stahllamellen kehren einander die gleichnamigen Pole zu. *O* und *P* sind zwei horizontal liegende Multiplicatorrollen, welche durch das Drahtstück *d* zu einem ununterbrochenen Ganzen vereinigt sind, das in die Enden *DE* ausläuft. Verbindet

Fig. 216.



man diese Enden mit dem Leitungsdrahte, der mit den Polen einer Kette in Verbindung steht, deren Strom eine solche Richtung hat, dass er die Nordpole nach links, mithin die Südpole nach rechts ablenkt, so dreht sich der magnetische Stahlkreis in der Richtung um xy; ein an der Verlängerung des Metallstückes ACB befindlicher Zeiger Z bewegt sich gegen die Glocke bei J (Fig. 217) und schlägt mit einem aus seiner Mitte hervorragenden Knopfe gegen dieselbe. Wird der Strom in umgekehrter Richtung geleitet, so findet die umgekehrte Drehung des Stahlkreises statt, und der Zeiger Z bewegt sich gegen die Glocke V, die einen andern Ton giebt, als die Glocke J. Geht kein Strom durch die Windungen, so bewirkt ein auf dem Kästchen angebrachter Magnet SN, dass der Stahlkreis in seine frühere Ruhelage zurückkehrt. Die Zeichen sind Combinationen von J und V.

Fig. 217.

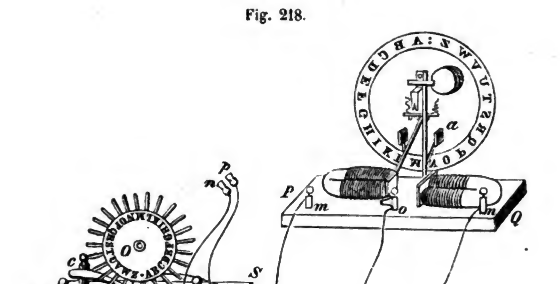


Das Alphabet des Nadeltelegraphen:

A	J	H	JVJ	P	VJ	W	VVV	4	JJJJ
B	JJ	I	JVV	Q	VJJ	X	VVVJ	5	V
C	JJJ	K	JVVJ	R	VJJ	Y	VJVV	6	VJ
D	JJJJ	L	JJVJ	S	VJV	Z	VVJV	7	VJJ
E	JV	M	JJVV	T	VJJV	1	J	8	VJJJ
F	JJV	N	JVVV	U	VJVJ	2	JJ	9	VJV
G	JJJV	O	JVJV	V	VVJ	3	JJJ	0	VV.

III. Der Zeigertelegraph. Diese Classe umfasst verschiedenartig eingerichtete telegraphische Apparate, welche aber sämmtlich darin übereinstimmen, dass die Nachrichten vermittelst eines vor einem Zifferblatte rund laufenden Zeigers mitgetheilt werden. Das Zifferblatt enthält alle Buchstaben und Ziffern in der gewöhnlichen Reihenfolge, und der Zeiger hält in seinem Laufe bald vor dem einen, bald vor dem andern Buchstaben. Die Schrift ist die gewöhnliche Buchstabenschrift. Hinsichtlich der Geschwindigkeit des Telegraphirens stehen sie den Druck- und Nadeltelegraphen nach. Nachfolgende Zeichnung (Fig. 218) mag dazu dienen, das Princip eines Zeigertelegraphen anschaulich zu machen. Auf dem Brette PQ befinden sich zwei hufeisenförmige, mit übersponnenem Kupferdrahte umwickelte Stäbe aus weichem Eisen. Die Enden des um das eine Hufeisen gewickelten Drahtes gehen unter dem

Fig. 218.



Brette hin bis zu den beiden Säulchen *mo*. Mit letzteren sind zwei Leitungsdrähte verbunden, welche mit der Volta'schen Batterie der andern Station in Verbindung stehen. Von da aus führt ein dritter Draht nach dem Säulchen *n*, das mit dem Ende des um das andere Hufeisen gewickelten Drahtes in Verbindung steht. Das andere Ende führt unter dem Brette hin nach *m*. Unmittelbar in der Nähe des zuletzt erwähnten Hufeisens ist eine bewegliche Eisenplatte (ein Anker) angebracht, an welchem sich ein Stab befindet, der aber einen horizontalen Querstab trägt. Wird die Verbindung der Drähte mit den Polen der Batterie hergestellt, so wird das Hufeisen magnetisch und zieht die Eisenplatte an; durch Unterbrechung des Stromes fällt die Eisenplatte wieder ab. Der Telegraphist hat es in seiner Gewalt, die Kette nach Belieben zu schliessen und zu öffnen; bei dem jedesmaligen Schliessen schlägt eine an dem Stabe befestigte Kugel an einer Glocke an, um ein Signal zu geben. Eine ähnliche Eisenplatte (ein Anker) befindet sich vor den Polen des andern Elektromagneten. An dieser Platte ist gleichfalls ein Stab angebracht, dessen oberer Querstab bei einem jeden Hin- und Hergange in die Zähne eines Rades eingreift, dasselbe in derselben Richtung um einen halben Zahn, den Zeiger also um einen Buchstaben weiter schiebt. An den Axen dieses Zahnrades befindet sich eine Scheibe, auf deren entgegengesetzter Seite ein Punkt und 23 Buchstaben des Alphabets angebracht sind. Ist der Zeiger auf den Nullpunkt eingestellt, so muss er bei dem ersten

Schliessen der Kette auf *A*, beim ersten Oeffnen auf *B* springen, u. s. w. Bei dem beabsichtigten Buchstaben wird durch längeres Verweilen angezeigt, dass dieser Buchstabe zu notiren sei. Auf dem Brettchen *RS* befindet sich der Communicator. Der positive Pol der Volta'schen Batterie steht in fester Verbindung mit dem Ende *p* des Leitungsdrahtes *op*; der negative Pol ist mit dem Drahte *n*, und dieser mit der Messingsäule *l* verbunden. Diese Säule steht auf einer Feder, die sich, wenn sie frei ist, gegen einen an dem Messingsäulchen *x* befestigten Seitenstift anlegt, und sodann den negativen Pol *n* der Batterie mit dem Leitungsdrahte *xm* verbindet. Das Messingsäulchen *c* trägt ebenfalls einen Stift; das Säulchen ist mit dem Leitungsdraht *cn* verbunden. Der Telegraphist kann durch einen Druck mit dem Finger den Stift mit der darunter befindlichen Metallfeder in Verbindung setzen. Die Feder steht durch einen unterhalb des Brettchens fortlaufenden Draht mit dem Messingsäulchen *l* in Verbindung. Das Buchstabenrad des Communicators trägt an seinem Umfange in abwechselnder Folge kurze und lange Speichen, welche den am Rande eingegrabenen Buchstaben gegenüber stehen. Die Speichen *A*, *C*, *E*, *G* u. s. w. sind kurz, die andern, *B*, *D*, *F*, *H* u s. w., sind länger. Sie stehen in verticaler Lage gerade über der Feder, welche, wenn sie frei ist, die Säulen *l* und *x* verbindet. Soll der Apparat thätig werden, so giebt man dem Buchstabenrad die Stellung, die es in der Figur hat. Sodann macht man den Telegraphirenden auf der andern Station aufmerksam, indem man die Feder *c* niederdrückt. Dadurch schlägt auf der andern Station die an dem erwähnten Stäbchen befindliche Kugel an die Glocke an. Darauf wird die Speiche vertical nach unten gestellt, die Feder geht in die Höhe und schliesst durch die Berührung des Knöpfchens *e* die Kette. Am Buchstabenrade der andern Station springt der Zeiger von dem Nullpunkte auf *A* u. s. w. Ist der beabsichtigte Buchstabe erreicht, so drückt man die Feder *c* nieder. Nach beendigtem Telegraphiren wird die Scheibe auf den Nullpunkt zurückgestellt.

Die elektrischen Uhren.

Eine der schönsten Anwendungen, welche von dem elektrischen Telegraphen gemacht worden sind, ist unstreitig die Construction der elektrischen oder elektromagnetischen Uhren. Warum, sagt Steinheil, hat man in grossen Städten viele Uhren? Doch offenbar nur, um die Zeit zu sehen. Gehen diese Uhren aber verschieden, so ist ihr Zweck sicherlich verfehlt. Es lässt sich nicht

erwarten, dass die Uhrmacherei im Stande sein wird, Uhren anzufertigen, welche auf längere Zeit hin genau gehen. Selbst die astronomischen Uhren gehen auf längere Zeit nicht vollkommen übereinstimmend. Im Grunde käme es nur darauf an, die Zeitangabe einer Uhr beliebig zu vervielfältigen, gewissermassen Spiegelbilder einer Uhr da anzubringen, wo man sie haben will; und es ist dies durch elektrische Mittel möglich. Bei der unglaublichen Schnelligkeit, mit welcher der elektrische Strom den Gedanken fast momentan auf die bedeutendsten Entfernungen überträgt, liegt es nahe, durch ähnlich construirte Apparate auch die Zeit zu telegraphiren, oder die von einer Normaluhr angegebene Zeit auf eine unbestimmte Anzahl, in verschiedener Entfernung hin aufgestellter Apparate zu übertragen.

Alle diese Vorrichtungen lassen sich in zwei Classen theilen, nämlich in Zeittelegraphen, in welchen eine gewöhnliche Pendel- oder Gewichtsuhr ihre Zeit auf andere entfernt stehende Apparate überträgt, und in solche Apparate, in welchen die Normaluhr selbst durch elektrische oder magnetische Kraft in Thätigkeit gesetzt wird. Bei der elektrischen Uhr Steinheil's ist die Einrichtung so getroffen, dass galvanische Kräfte auf die einzelnen Uhren eines Stadtviertels oder einer ganzen Stadt einwirken, so dass alle Uhren gleichzeitig die ganzen und die halben Stunden zeigen und schlagen. Gute Uhren können in dem Zeitraum einer halben Stunde höchstens um 1—2 Minuten differiren. In dem Moment, in welchem die Normaluhr die halbe Stunde schlägt, durchströmt die Elektricität die ganze Leitung, welche in allen eingeschalteten Uhren zu gleicher Zeit ein weiches Eisen magnetisirt. Dieser temporäre Magnet zieht einen Anker an sich, der mittelst eines Hebels auf den Minutenzeiger der Uhr wirkt; dadurch werden alle Zeiger, wenn sie nicht schon genau dieselbe Stunde zeigen, vorwärts oder rückwärts, d. h. genau auf dieselbe Stunde gerückt. Diese Einwirkung des elektrischen Stromes geschieht alle halbe Stunden.

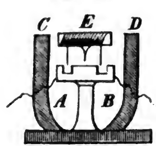
Die elektrische Uhr von Wheatstone ist nur ein unähnlicher Apparat, in welchem alle diejenigen Theile fehlen, welche in gewöhnlichen Uhren die bewegende Kraft liefern und ihre Wirkung reguliren. Eine solche Uhr besteht nur aus einer Scheibe, welche ihren Stunden-, Minuten- und Secundenzeiger hat und aus einem Systeme von Rädern, welche von der Welle des Secundenzeigers die Bewegung zum Stundenzeiger in ähnlicher Weise fortpflanzen, wie dies bei einem gewöhnlichen Uhrwerke der Fall ist. Ein kleiner Elektromagnet wirkt auf ein eigenthümlich eingerichtetes Rad an der Welle des Secundenzeigers ein, so dass diese Uhr,

obgleich sie jeder Gewichts- und Federkraft baar ist, die Bewegungen des Zeigers in der Normaluhr vollständig nachmachen muss. Das an und für sich todte Zeigerwerk verrichtet also vollkommen die Functionen einer gewöhnlichen Uhr. Die Unterbrechung und Wiederherstellung des Stromes geschieht durch die Normaluhr auf folgende Weise. Auf der Axe des Echappement-Rades der Normaluhr befindet sich ein kleines Rad von Messing mit sechzig Zähnen, deren Zwischenräume mit Elfenbein so ausgefüllt sind, dass der Umfang des Rades ganz unterbrochen ist und sechzig metallene mit einer gleichen Anzahl elfenbeinerner abwechselnder Bogenstücke enthält. Eine kupferne, sehr leicht gespannte Feder drückt mit ihrem freien Ende gegen den Umfang des erwähnten Rades; das feste Ende der Feder ist mit dem einen Ende der Drahtspirale des Elektromagneten verbunden, während ein anderer, am Uhrgestelle befestigter Kupferdraht zu dem zweiten Ende der Windungen des Elektromagneten geht. Eine constante Batterie von kleiner Dimension ist irgend wo in die Drahtleitung eingeschaltet. Bei dieser Einrichtung wird die Kette, sobald die Normaluhr in Bewegung kommt und ihre Unterbrechungsscheibe dreht, abwechselnd geöffnet und geschlossen, da die Feder auf den Umfang dieser Scheibe bald auf das Messing, bald auf das Elfenbein drückt. Dadurch empfängt und verliert der bei der Normaluhr befindliche Elektromagnet in der einen Hälfte einer Secunde seine Kraft, in der zweiten aber gewinnt er sie, und setzt dadurch das Zeigerwerk der Uhr in Bewegung.

Elektromagnetische Motoren.

Der Elektromagnetismus ist als bewegende Kraft zum Maschinenbetriebe benutzt worden. Dass dies in der That möglich ist, ergiebt sich daraus, dass bei Anwendung genügend grosser Eisenstäbe, Vermehrung der Drahtspiralen und Verstärkung der elektrischen Batterie es in der Hand des Menschen liegt, hinlänglich starke Elektromagnete zu erzeugen. Da die Stellung der Pole eines Elektromagneten abhängig ist von der Richtung des seine Drahtspirale durchströmenden elektrischen Stromes, und die Pole wechseln, wenn die Richtung des Stromes umgekehrt wird, so geht die frühere Anziehung der einander gegenüber stehenden Pole in Abstossung über. Durch die gegenseitige Einwirkung von Elektromagneten und regelmässig sich wiederholendem Polwechsel ist es möglich, Kräfte zu erzeugen, die sich zum Betriebe von Maschinen anwenden lassen. Ritchie's rotirender Elektromagnet (Fig. 219)

Fig. 219.



zeigt uns das Wesen einer solchen Einrichtung. *CD* ist ein hufeisenförmiger, um seine verticale Axe leicht beweglicher, übersponnener Magnet; in der Mitte desselben befindet sich eine Holzscheibe *AB*, die mit einer kreisförmigen Rinne versehen ist, welche durch isolirende Scheidewände in zwei Hälften getheilt ist. Ein Eisenstäbchen *E*, das etwas kürzer ist, als die Holzscheibe, wird mit übersponnenem Kupferdrahte umwickelt und so über der Holzscheibe angebracht, dass es sich um eine auf der Scheibe senkrechte Axe bewegen kann. Die beiden Drahtenden reichen in die Rinne hinein. Die beiden Abtheilungen der Rinne werden mit Quecksilber gefüllt, so dass die beiden Drahtenden das Quecksilber berühren. Leitet man nun einen elektrischen Strom durch das Quecksilber und durch das Stäbchen *E*, so beginnt dasselbe um seine Axe zu rotiren. Der Grund dieser Bewegung ist der, dass der Stab durch den elektrischen Strom selbst Magnet wird, und dass dessen Pole bei jeder halben Umdrehung wechseln, da durch die Bewegung des Stäbchens die Drähte abwechselnd in eine andere mit Quecksilber gefüllte Abtheilung der Rinne tauchen. Der Strom tritt daher abwechselnd durch die beiden Drähte in die Windungen ein und hat demnach im Vergleich mit vorher eine umgekehrte Richtung.

Schulthess in Zürich wandte zuerst den durch den elektrischen Strom erzeugten Magnetismus als bewegende Kraft im Grossen an. In grösserem Massstabe versuchte dies Jacobi in Petersburg, der auf der Newa eine kleine Schaluppe von 28′ Länge und 7,5′ Breite, welche nach Art der Dampfschiffe mit 8 Ruderrädern versehen war, mit einer Geschwindigkeit von 3′ in der Secunde stromaufwärts bewegte. Durch Anwendung einer Grove'schen Batterie von 64 Plattenpaaren gelang es Jacobi, dass das Boot mit der nämlichen Schnelligkeit stromaufwärts bewegt werden konnte, wie ein Dampfschiff, das die gleiche Last trug. Das Ergebniss von Jacobi, so wie die Resultate von Wagner, Stöhrer und Davenport liessen anfänglich hoffen, dass die Aufgabe genügend gelöst werde, und dass es in Zukunft möglich sein würde, die Dampfkraft durch den Elektromagnetismus zu ersetzen. Die Folge lehrte aber, dass ungeachtet der grossen Kraft, welche die Magnete im Zustande der Ruhe zeigen, eine entsprechende Bewegung nicht erzeugt werden kann, weil diese Kräfte Ströme induciren, deren Bewegung der des primären Stromes entgegengesetzt ist, und ausserdem der mit Hülfe eines elektromagnetischen Motoren erzielte Nutzeffect mit der unvermeidlichen Zinkconsumtion in einem ungünstigen Verhältnisse in Bezug auf die Kosten steht. Die Lösung der Frage ist also aufzuschieben, bis man in der Folge in den Stand gesetzt sein wird, durch Erfindung neuer Erregungsmethoden der Elektricität das Missverhältniss zwischen Nutzeffect und Zinkconsumtion zu beseitigen

Dritter Abschnitt.

Vom Lichte.

In früheren Zeiten betrachtete man das Licht als eine ausserordentlich feine Materie, welche von den leuchtenden Körpern in geradlinigen Richtungen fortschnelle, in das Auge gelange und daselbst die Empfindung des Lichtes hervorrufe. Die Reflexions- und Brechungserscheinungen erklärte man sich nach dieser Theorie, die man die Emanations- oder Emissionstheorie nennt, dadurch, dass man annimmt, die Lichttheilchen (Lichtmoleküle) erfahren von den reflectirenden und brechenden Körpertheilen Anziehungen und Abstossungen, und in Folge dessen Aenderungen in ihrer Geschwindigkeit. Newton, welcher diese Hypothese für die Erklärung aller Lichterscheinungen am geeignetsten hielt, führte die Farbenzerstreuung auf die Verschiedenheit in der Grösse der Lichtmoleküle zurück. Die Erscheinungen der Polarisation wurden von Malus einer Vierseitigkeit der Lichttheilchen zugeschrieben; zwei parallele Seiten sollten andere Eigenschaften haben, als die andern beiden Seiten. Im polarisirten Lichte sollten sich die gleichartigen Seiten nach der nämlichen Seite hin richten. Diese Hypothese hat fast nur noch historischen Werth.

Cartesius und seine Schüler nahmen an, dass das Licht als Schwingungen in einem sehr feinen Mittel zu betrachten sei und erklärten die zu der damaligen Zeit bekannten Erscheinungen aus dieser Theorie, welche die Undulations- oder Vibrationstheorie genannt wurde. Nach dieser Theorie pflanzen sich die Vibrationen durch das überall verbreitete Fluidum fort, und gelangen so in das Auge. Die Natur und die Uebertragung des Lichtes sind dieser Ansicht zufolge analog der Natur des Schalles und seines Durchganges durch flüssige und feste Körper. Die Undulationstheorie ist von Euler, Young und Fresnel wieder aufgenommen und vervollkommnet worden, so dass sie jetzt fast allgemein als die richtigere Ansicht anerkannt wird.

Damit ein Mensch sehe, ist es nicht ausreichend, dass er im Besitze des gehörig beschaffenen Sehorganes sei, es ist ausserdem noch ein eigenthümlicher Zustand der Körper erforderlich, welchen man allgemein mit dem Worte Helligkeit bezeichnet. Einen geringeren Grad derselben nennt man Dunkelheit, gänzlicher Mangel der Helligkeit Finsterniss. Der objective Grund der Helligkeit wird Licht genannt.

In Bezug auf das Licht theilt man die Körper ein in leuchtende und dunkle, welche letztere nur dadurch bemerkbar werden, dass ihnen von den leuchtenden Körpern Licht mitgetheilt wird. Leuchtende Körper sind: die Sonne, die Fixsterne, alle brennenden Körper, der elektrische Funke u. s. w. Dunkle Körper werden unter Umständen leuchtend; so durch Erwärmen, Reiben, Schlagen, durch strömende Elektricität u. s. w. Gewisse Körper hindern das Sehen nicht, wenn sie sich zwischen dem Körper, welcher das Licht aussendet, und dem Körper, welcher das Licht empfängt, befinden; man nennt solche Körper, welche das Licht durch sich hindurch lassen, durchsichtige Körper, solche hingegen, die dies nicht thun, undurchsichtige. Körper, welche weniger durchsichtig sind, und zwischen den durchsichtigen und undurchsichtigen in der Mitte stehen, heissen durchscheinende Körper.

Durchsichtige Körper sind die Luft, die Gasarten, das Wasser, viele krystallisirte Körper, das Glas u. s. w. Undurchsichtige Körper sind in dünnen Blättchen häufig durchscheinend.

Ein leuchtender Körper verbreitet sein Licht nach allen Richtungen, und dies geschieht in einem durchaus homogenen Mittel, in geraden Linien. Man kann dies daraus erkennen, dass ein undurchsichtiger Körper die Beleuchtung eines andern nur in dem Falle hindert, wenn sich der erstere in den geraden Linien befindet, die man sich vom Auge zu den Punkten des zu sehenden Körpers hin gezogen vorstellt. Da ein leuchtender Körper zu gleicher Zeit sein Licht nach allen Richtungen hin verbreitet, so können viele Personen zu gleicher Zeit dasselbe Object wahrnehmen. Eine gerade Linie, welche von einem leuchtenden Punkte ausgeht, wird ein Lichtstrahl genannt.

Wenn Lichtstrahlen auf einen Körper fallen, der dieselben nicht durch sich hindurch lässt, so entsteht ein Schatten. Die Gestalt des Schattens ist von der des undurchsichtigen Gegenstandes abhängig, ebenso wie seine Grösse von der des Körpers abhängig ist. Da der Körper nur einen Theil der Lichtstrahlen aufhält, so ist es klar, dass alle Lichtstrahlen, die nicht aufgehalten werden, ihre Richtung weiter verfolgen, bis sie einen Körper finden, auf welchen sie fallen können. Auf den letzteren zeichnet sich nun der Schatten des undurchsichtigen Körpers, dessen Grösse eine verschiedene ist. Ist der leuchtende Körper im Verhältniss zum undurchsichtigen sehr gross, wie z. B. die Sonne, deren Strahlen auf die Erde fallen, so bildet sich einen Schattenkegel (Fig. 220). *A*

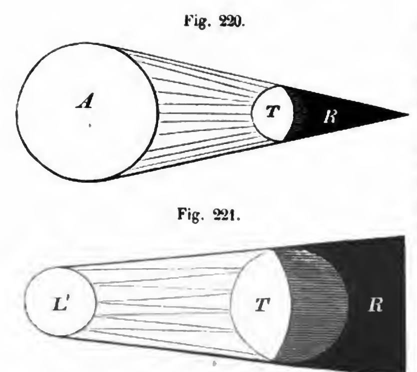


Fig. 220.

Fig. 221.

stellt die Sonne vor, T die Erde, R den Schattenkegel. Findet aber das Umgekehrte statt, ist der leuchtende Körper sehr klein in Bezug auf den undurchsichtigen (Fig. 221), so ist der Schatten sehr gross und erweitert sich immer mehr und mehr. In der beistehenden Figur bedeutet L' den Mond, T die Erde und R den entstandenen Schatten.

Hat der leuchtende Gegenstand eine merkliche Ausdehnung, wie in Figur 220, so ist hinter dem undurchsichtigen Körper ein Raum, in welchem kein Strahl direct eindringen kann; der dadurch entstandene Schatten heisst der Kernschatten; derselbe ist von einem Raume umgeben, in welchen nur von einzelnen Punkten des leuchtenden Körpers Lichtstrahlen unmittelbar gelangen können, dieser heisst der Halbschatten. Die Intensität des Halbschattens nimmt gegen den Kernschatten hin ab, beide Schatten gehen in einander über und bilden die Halblichte.

Fängt man den Schatten, den ein undurchsichtiger Körper wirft, auf einer Fläche auf, so erhält man eine perspectivische Zeichnung der äusseren Umrisse dieses Körpers, eine Silhouette.

Beleuchtungsintensität. Wenn sich das Licht von einem leuchtenden Punkte ausbreitet, so wird es in seiner Intensität geschwächt, einmal durch die Ausbreitung, das andere mal aus Mangel an Durchsichtigkeit der Mittel (Absorption). Hierbei gelten folgende Gesetze:

1) ***Die Intensität des Lichtes ist dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional;***

2) ***Die Intensität der Beleuchtung einer Fläche ist abhängig von der Neigung derselben gegen die auffallenden Strahlen;*** sie ist unter übrigens gleichen Umständen dem Sinus des Winkels proportional, unter welchem das Licht das Flächenstück trifft;

3) ***Die Intensität der Lichtstrahlen eines leuchtenden Körpers ist proportional dem Sinus des Lichtaussendungswinkels;***

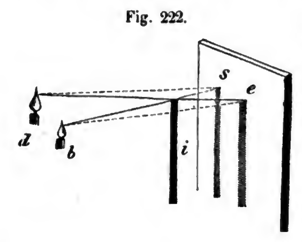
4) Durchdringt Licht irgend ein Medium, und setzt man dabei voraus, dass das Licht gleichmässig absorbirt werde, so nimmt die Menge des durchgehenden Lichtes in geometrischer Progression ab, wenn die Dicke des Mediums in arithmetischer Progression zunimmt.

Man nennt zwei Flächen gleich hell, wenn man von gleichen Arealen gleichviel Licht erhält; die Helligkeit ist unabhängig von der Entfernung des leuchtenden Gegenstandes.

5) Die Lichtstärke ist proportional dem Producte aus Helligkeit und scheinbarer Grösse.

Instrumente, welche zur Vergleichung verschiedener Lichtstärken dienen, nennt man Photometer; die photometrischen Messungen bieten viele Schwierigkeiten dar, da man kein Licht kennt, das hinreichend unveränderlich wäre, um als Masseinheit bei solchen Bestimmungen zu Grunde gelegt werden zu können. Man muss daher bei jeder anzustellenden Bestimmung die Intensität eines der zu vergleichenden Lichter als Einheit annehmen. Das Photometer von Rumford und Lambert besteht im Wesentlichen aus einem mit weissem Papier überzogenen Rahmen, vor welchem ein schmaler Stab *i* (Fig. 222) aufgestellt ist. Die Lichtflammen, welche man vergleichen will, stellt man hinter diesem Stabe auf. Der Schatten *s* des Stabes wird durch das Licht *d*, der Schatten *e* durch das Licht *b* erleuchtet. Nun rückt man eine der Flammen so lange, bis beide Schatten gleich hell sind, und misst dann die Entfernungen beider Flammen von den Schatten, welche sie beleuchten, und bestimmt dadurch das Verhältniss der Lichtstärken beider Flammen, dass man von dem Massverhältniss die Quadratzahl nimmt.

Fig. 222.



Musste z. B. ein Wachslicht 1 Fuss von dem beleuchteten Schatten entfernt werden, während eine Oellampe 2 Fuss davon entfernt war, so verhalten sich die Entfernungen wie 1 : 2 und die Lichtstärke wie 1 : 4.

Von den vielen Photometern sei noch das von Bunsen erwähnt, das sich durch grosse Einfachheit auszeichnet; dasselbe beruht auf dem Umstande,

dass eine ungleich transparente Fläche nur dann von homogener Helligkeit erscheint, wenn sie von beiden Seiten Lichtmengen von gleicher Intensität empfängt, dass hingegen der transparente Theil gegen den weniger transparenten sich dem Auge an der Seite dunkel darstellt, wo die Intensität des ihn beleuchtenden Lichtes überwiegt. Die Ursache dieser Erscheinung ist folgende: Wenn von einem leuchtenden Körper aus parallele Strahlen auf ein Blatt starkes Papier fallen, das zur Hälfte mit Stearinsäure getränkt ist, so erhält die Papierfläche auf allen Punkten eine gleiche Lichtmenge, die theils zurückgeworfen, theils nach dem Grade der Transparenz hindurch gelassen wird. Aber trotzdem, dass alle Theile des Papiers eine gleiche Lichtmenge erhalten, ist die Fläche nicht homogen hell; der getränkte Theil erscheint dunkler, weil durch ihn mehr Licht verloren geht, als durch den nichtgetränkten. Wird das Papier von der andern Seite her gleich stark beleuchtet, so muss der Verlust an Helligkeit, welche die eine Seite des Papiers erleidet, durch das von der andern her durchgelassene, an Intensität gleiche Licht genau compensirt werden und die Papierfläche gleich hell erscheinen, wie ungleich die Transparenz auch sein mag. Stellt man sich nun vor, die Intensität der einen Lichtquelle nehme zu, so wird die Gleichheit der Beleuchtung des Papiers wieder aufgehoben. Das Wesentliche der ganzen Einrichtung ist der inwendig geschwärzte Photometerkasten, der eine möglichst constante Lichtquelle (z. B. eine Argand'sche Lampe) enthält und mit einem Rohr versehen ist, dessen Oeffnung durch ein transparentes Papierdiaphragma verschlossen ist. Dasselbe besteht aus weissem, mit Stearinsäure getränktem Zeichenpapier, in dessen Mitte ein kleiner, nicht getränkter Ring frei gelassen ist. Beobachtet man dieses Diaphragma von einem dunklen Orte aus, so erscheint der ungetränkte Ring des Papiers schwarz auf weissem Grunde. Stellt man vor das Diaphragma ein Licht, so wird der dunkle Ring in dem Verhältnisse heller, als ihm das Licht näher gerückt wird. In einer gewissen Entfernung verschwindet der Ring und kommt wieder zum Vorschein, wenn das Licht noch näher gerückt wird. Der Augenblick, wo der Ring verschwindet, lässt sich daher sehr genau bestimmen. Ist der Photometerkasten der zu untersuchenden Lichtquelle so weit genähert worden, dass der Ring auf dem Diaphragma nicht mehr zu unterscheiden ist, so erhält man das umgekehrte Intensitätsverhältniss der zu vergleichenden Lichtquellen, wenn man die Entfernung derselben vom Diaphragma misst und aufs Quadrat erhebt.

Geschwindigkeit des Lichtes. Da weder die Elasticität noch die Dichte des Aethers, durch dessen Vibrationen das Licht sich verbreitet, gemessen werden kann, so lässt sich auch die Geschwindigkeit der Verbreitung des Lichtes nicht berechnen, sondern nur durch unmittelbare Beobachtung finden. Dies gelang zuerst dem dänischen Astronomen Olav Römer im Jahre 1676 durch seine Beobachtungen der Jupitertrabanten. Um den Jupiter bewegen sich ;bekanntlich vier Monde oder Trabanten, welche bei jedem Umlaufe ein mal in den Schatten treten, also verfinstert werden. Die Zeit, welche vom Anfange einer solchen Verfinsterung an bis zum Anfange der nächsten verfliesst, eben so die, welche

zwischen den nächsten Verfinsterungen liegt, ist die Umlaufszeit dieses Trabanten. Dieselbe nimmt fortwährend ab, wenn die Erde sich dem Jupiter nähert, hingegen zu, wenn sich die Erde vom Jupiter entfernt. Römer fand, dass, wenn die Erde zwischen der Sonne und dem Jupiter stand, demnach in der grössten Nähe dieses Planeten, derjenige seiner vier Monde, welcher ihm zunächst steht, nach 42 Stunden 28′ 35″ in den Schatten des Planeten trat. Als sich die Erde in ihrer grössten Entfernung vom Jupiter befand, so zeigte die Beobachtung eine Vergrösserung von ungefähr 15 Minuten gegen das Resultat der Rechnung. Da sich die Erde bis dahin fast um den ganzen Durchmesser der Erdbahn vom Jupiter weiter entfernt hatte, so wurde durch 15′ die Zeit ausgedrückt, welche das Licht nöthig hat, um die Enternung zu durchlaufen, um welche die Erde jetzt weiter vom Jupiter absteht, als zur Zeit ihres kleinen Abstandes vom Jupiter. Römer fand daraus die Geschwindigkeit des Lichtes zu 41,900 geographischen Meilen in der Secunde. Das Licht legt also den Halbmesser der Erdbahn, oder den Raum von der Sonne zur Erde, in 8′ zurück; es braucht 4 Stunden 10′ um von dem Neptun, ungefähr 10 Jahre, um von dem nächsten Fixsterne (61 Cygni) zu der Erde zu gelangen.

Es giebt jedoch noch ein anderes Mittel, die Geschwindigkeit des Lichtes zu bestimmen. Bradley entdeckte nämlich eine eigene Veränderung des scheinbaren Ortes aller Gestirne, die von der Geschwindigkeit des Lichtes, verbunden mit der Geschwindigkeit der Erde herrührt. Er bezeichnet diese Erscheinung mit dem Namen Aberration oder Abirrung des Lichtes. Vermöge dieser Aberration sehen wir alle Gestirne nicht an ihrem wahren Orte, sondern etwas weiter auf diejenige Stelle hin gerückt, nach welcher eben die Erde in ihrer jährlichen Bewegung um die Sonne geht, demnach in der Richtung der Resultirenden der Geschwindigkeit des Lichtes mit derjenigen der Erde. In der Zeit des jährlichen Umlaufes der Erde um die Sonne beschreiben die Sterne eine kleine Ellipse um ihren wahren Ort. Da sich nun die Erde um die Sonne bewegt und ihre Geschwindigkeit sich bezüglich der verschiedenen Sterne nicht gleich bleibt, so erscheint der Ort der Gestirne etwas verändert. Aus der Grösse dieser Veränderung lässt sich die Geschwindigkeit des Lichtes bestimmen, welche man gleich 41,518 Meilen findet, von welchen 15 auf einen Grad gehen.

In der neueren Zeit ist es dem französischen Physiker Fizeau gelungen, allein durch terrestrische Versuche die Geschwindigkeit des Lichtes zu messen. Zwei Fernröhre wurden in einer Entfernung von 8633 Meter aufgestellt und direct einander zugekehrt. Das eine Fernrohr war in der Nähe des Brennraumes

etwas geöffnet und empfing intensives Licht von einer Lampe, welches durch ein unter 45° gegen die Axe des Instrumentes geneigtes Spiegelglas zum Theil in der Richtung nach dem zweiten Fernrohr reflectirt wurde. Dort angekommen, wurde es von einem senkrecht zur Axe des Instrumentes gestellten Metallspiegel reflectirt und letzterer wurde daher vom Beobachter am ersten Fernrohr als ein glänzender Lichtpunkt gesehen. Durch das Feld dieses Fernrohres ging der Rand einer kreisförmigen Scheibe, an welchem 720 Zähne durch eben so grosse Zwischenräume getrennt waren, so dass, während das Rad rotirte, das Gesichtsfeld abwechselnd von einem Zahne verdeckt, oder durch einen Zwischenraum geöffnet war. Es ist evident, dass, wenn eben so viel Zeit verfliesst, bis ein Zwichenraum durch einen Zahn ersetzt wird, als das Licht braucht, um den Raum zwischen den beiden Stationen hin- und zurück zu durcheilen, der Lichtpunkt für den Beobachter am ersten Fernrohr fortwährend unsichtbar bleiben wird, während er bei der doppelten Rotationsgeschwindigkeit gesehen wird u. s. w. Das Mittel aus 28 Beobachtungen ergab eine Geschwindigkeit von 42,569 geographischen Meilen in der Secunde. Das aus der Aberration abgeleitete Resultat ist zwar genau, doch haben die terrestrischen Beobachtungen den Vorzug, dass sie auch zur Messung der Geschwindigkeit des Lichtes in anderen Mitteln, als im leeren Raume oder in der Luft, anwendbar sind. Man hat auch in der That gefunden, dass die Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser geringer ist, als in der Luft, was zugleich als thatsächlicher Beweis gegen die Emissionshypothese dient.

Von der Reflexion oder Spiegelung des Lichtes (*Katoptrik*).

Unter der Reflexion oder Spiegelung des Lichtes versteht man die Zurückwerfung desselben von der Oberfläche der Körper.

Stellt *ac* (Fig. 223) einen Lichtstrahl vor, welcher in dem Punkte *c* auf einen Spiegel *nm* auffällt, so wird dieser Strahl in der Richtung *cb* so zurückgeworfen, dass die Winkel *acd* und *dcb*, den der einfallende und der zurückgeworfene Strahl mit einem auf der Ebene des Spiegels errichteten Perpendikel bilden, einander gleich sind. Die im Einfallspunkt auf der Fläche *nm* senkrecht stehende Gerade *dc* nennt man das Einfallsloth, den Winkel *acd*, den der einfallende Strahl mit dem Einfallsloth bildet, den Einfallswinkel, den Winkel *dcb* den Ausfalls- oder Reflexionswinkel.

Fig. 223.

Die Gesetze, nach denen die Reflexion des Lichtes von ebenen Flächen geschieht, sind folgende:

1) ***der Einfallswinkel ist gleich dem Ausfallswinkel;***

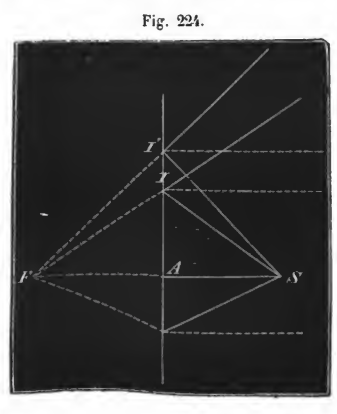
2) ***der einfallende Strahl und der reflectirte Strahl liegen mit dem Einfallslothe in derselben Ebene.***

Das regelmässig reflectirte Licht ist zu unterscheiden von dem unregelmässig reflectirten Lichte. Unsere Spiegel geben das Bild des Gegenstandes, welcher ihnen Lichtstrahlen zusendet, indem sie die auffallenden Strahlen regelmässig reflectiren. Die Intensität des reflectirten Lichtes ist um so grösser, je ebener seine Oberfläche ist.

Reflexionserscheinungen an ebenen Spiegeln. Es ist aus der Erfahrung bekannt, dass ein vor einem ebenen Spiegel befindlicher Gegenstand ein Bild hinter dem Spiegel erzeugt. Der Ort hinter dem Spiegel, von welchem die Lichtstrahlen auszugehen scheinen, heisst das optische Bild oder das Spiegelbild des Gegenstandes. Das optische Bild einer Fläche, als welche jeder Gegenstand dem Auge erscheint, liegt symmetrisch zur Spiegelebene, in gleicher Entfernung hinter derselben, ist ebenfalls so gross als die Fläche und derselben ähnlich, indem es sich von derselben nur durch die Vertauschung von rechts und links unterscheidet. Diese Erscheinungen werden durch das Spiegelungsgesetz in folgenden drei Punkten vollständig erklärt.

1) Alle von einem leuchtenden Punkte ausgehende Strahlen werden in Einem Punkte gesammelt.

Fig. 224.



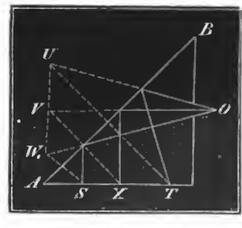
Es folgt dies aus der Congruenz der Dreiecke AIS und AIF, $AI'S$ und $AI'F$ (Fig. 224), woraus ausserdem noch hervorgeht, dass $AF = AS$, d. h. dass das optische Bild F von dem Gegenstande S symmetrisch zum Spiegel in gleicher Entfernung hinter demselben liege.

2) Das optische Bild einer Linie muss, dem Vorigen gemäss, eine gleich grosse Linie sein, die in gleicher Entfernung hinter dem Spiegel liegt.

3) Aus 1) folgt ferner, dass das optische Bild einer Fläche wieder eine gleich grosse Fläche in gleich grosser Entfernung hinter dem Spiegel sein muss.

Hat ein Spiegel AB (Fig. 225) eine Neigung von 45° gegen den Horizont, so erscheinen liegende Gegenstände, wie TS, einem vor dem Spiegel in O befindlichen Auge aufrecht, und aufrecht liegend. Es wird dies deutlich, wenn man eine entsprechende Figur zeichnet. UW ist das von TS in dem Spiegel erzeugte Bild. Solche unter 45° geneigte Spiegel befinden sich in den Panoramen, Guckkästen u. s. w., nur befindet sich in der Oeffnung, vor dem Auge, ein Linsenglas, wodurch das optische Bild UW sich grösser darstellt.

Fig. 225.

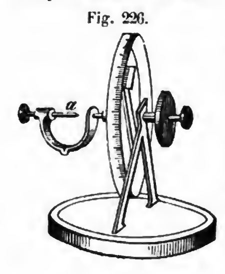


Stellt man zwei Planspiegel parallel gegeneinander, so erhält man eine unendliche Anzahl von Bildern, weil jedes optische Bild wieder optische Bilder hervorbringt. Da die Bilder sich immer weiter entfernen, so nimmt ihre Lichtintensität ab.

Stellt man zwei Planspiegel unter einem Winkel gegen einander, so ist die Anzahl der entstehenden optischen Bilder begrenzt und von der Grösse des Winkels abhängig. Bezeichnet man die Anzahl der Grade dieses Winkels durch n, so ist die Anzahl der hervorgebrachten Bilder $= \frac{360^0}{n}$, wenn man den Gegenstand selbst mit zählt.

Auf die Erscheinungen der Reflexion des Lichtes von ebenen Spiegeln gründet sich die Einrichtung des Reflexionsgoniometers, des Spiegelsextanten, des Heliostates, des Heliotropes und des Kaleidoskopes.

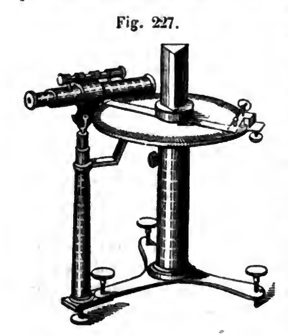
Fig. 226.



Das Goniometer ist bekanntlich ein Instrument zur Messung der Winkel, welche Krystallflächen mit einander bilden. Man unterscheidet Anleg- oder Contactgoniometer, welche aus einem metallenen Kreisbogen von 180° (ähnlich einem Transporteur) bestehen und mit zwei beweglichen radialen Metallstäben versehen sind, und Reflexionsgoniometer, welche auf der Spiegelung des Lichtes beruhen. Das Wollaston'sche Goniometer (Fig. 226) besteht aus einem verticalen, getheilten Kreise und einer horizontalen Welle, welche der

Länge nach durchbohrt ist und eine zweite Welle umschliesst, die mittelst eines Knopfes gedreht werden kann, ohne den Kreis mitzubewegen. An entgegengesetzter Seite der inneren Welle befindet sich ein Bogen, der sich bei der Drehung um seinen Durchmesser bewegt. In der Richtung dieses Durchmessers trägt der Bogen einen Stift *a*, an welchem der Krystall so befestigt wird, dass seine Kante in der Drehungsaxe liegt. Zur Messung sind zwei entfernte, Horizontallinien bildende, senkrecht übereinander befindliche Visirobjecte nothwendig, wie z. B. die Arme von Fensterkreuzen eines entfernt liegenden Hauses. Nun richtet man den Krystall so, dass die eine der beiden Flächen, deren Winkel gemessen werden soll, das Bild des Visirobjectes nach einer bestimmten Stelle reflectirt. Sodann wird die äussere Welle gedreht, und somit auch der an der inneren Welle befestigte Krystall um die betreffende Kante gedreht, bis die andere Fläche das Bild an derselben Stelle zeigt. Der Index am Kreise zeigt sodann den Drehungswinkel; das Complement dieses Winkels zu 180° giebt den Neigungswinkel beider Krystallflächen zu einander. — Bei grossen und schweren Krystallen wendet man das Gambey'sche Goniometer (Fig. 227) an, das im Wesentlichen aus einem Fernrohre besteht, das mit einer Säule, die oben einen getheilten Kreis trägt, auf demselben Stative befestigt ist. Behufs der Messung stellt man den Kreis auf den Nullpunkt ein und legt den Krystall so auf die Säule, dass das Bild eines entfernten Gegenstandes von der einen Fläche reflectirt im Fadenkreuze des Fernrohrs erscheint; darauf dreht man den Krystall um seine verticale Axe, bis das Bild desselben Gegenstandes, durch die andere Fläche reflectirt, ebenfalls im Fadenkreuze erscheint, liest dann die Grösse der Drehung am getheilten Kreise ab und bestimmt nach dem Obigen den Winkel der beiden Krystallflächen.

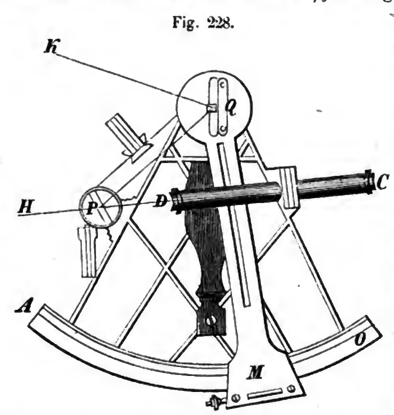
Fig. 227.



Ein anderer, auf die Reflexion des Lichtes sich gründender Apparat ist der Spiegelsextant von Hadley; dieses Instrument ist bestimmt, den Winkel zweier Gegenstände gegen den Horizont selbst dann zu messen, wenn der Beobachter keinen festen Stand hat, daher dasselbe besonders für den Seemann brauchbar ist.

Es besteht im Allgemeinen aus einem Kreisabschnitte *AQO* (gewöhnlich nur etwas mehr als $\frac{1}{6}$ des ganzen Kreises, daher der Name Sextant), um dessen Mittelpunkt *Q* (Fig. 228) sich eine Alhidade *QM* bewegt, welche bei *M* einen Nonius und bei *Q* einen auf sie senkrechten Spiegel trägt. Die spiegelnde Fläche geht durch den Mittelpunkt *Q* und ist auf der Ebene des Sectors befestigt. Ein anderer kleiner Spiegel ist bei *P* ebenfalls senkrecht auf die Ebene des Sextanten befestigt. Ist die Alhidade *QM* mit ihrem Spiegel so gestellt, dass der Index der Alhidade *M* durch diesen Anfangspunkt *O* der Theilung geht, so sind die Ebenen beider Spiegel zu einander parallel. Die obere Hälfte des kleinen Spiegels *P* (des festen Spiegels) ist nur zur Hälfte belegt, so dass das Auge durch den offenen Theil nach den entfernten Gegenständen sehen kann. Die spiegelnde Fläche des zweiten beweglichen Spiegels ist aber denjenigen Gegenständen zugewendet, auf welche sich die Winkelmessung bezieht. Bei Spiegelsextanten, die zu genauen Messungen dienen, befindet sich der kleine Spiegel *P* nahe senkrecht des Fernrohrs *DC*. Aus der Drehung des beweglichen Spiegels erfährt man den Winkel, den die vom Auge *C* nach den beiden Gegenständen *H* und *K* gezogenen Gesichtslinien mit einander bilden. Dieser Drehungswinkel wird doppelt genommen. Der Kreisbogen ist aber gewöhnlich so eingetheilt, dass jeder halbe Grad dieses Kreises durch seine beigesetzten Zahlen als ein ganzer betrachtet wird, so dass daher der an dem Instrumente unmittelbar abgelesene Bogen auch sofort gleich ist dem gesuchten Winkel *HCK*, welchen die beiden Objecte *H* und *K* in dem Auge *C* des Beobachters bilden.

Fig. 228.

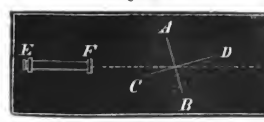


Der **Heliostat** ist eine Vorrichtung, vermittelst welcher man die Sonnenstrahlen in jede gegebene Richtung dergestalt lenken

kann, dass sich dieselbe mit der Bewegung der Sonne nicht ändert; derselbe besteht aus einem Planspiegel, der sich durch ein mit ihm verbundenes Uhrwerk so bewegen lässt, dass die auf ihn fallenden Sonnenstrahlen, ungeachtet des veränderten Standes der Sonne, stets nach derselben Richtung hin reflectirt werden.

Das Heliotrop ist von Gauss erfunden und wird benutzt, um bei geodätischen Messungen ein Visirobject zu erzeugen, welches auf grosse Distanzen hin sichtbar ist. Das Visirobject ist das Reflexionsobject der Sonne in einem ebenen Spiegel, der beweglich sein muss, damit die reflectirten Strahlen den Ort treffen, wo sich der Geometer befindet. Dies wird erreicht, indem man zwei auf einander senkrechte Planspiegel AB und CD (Fig. 229) so dreht, dass man in einem Fernrohre EF, welches auf einen in der Richtung FM befindlichen Beobachter eingestellt ist, zugleich im Spiegel CD, und zwar in derselben Richtung, das Sonnenbild erblickt. Wie vorzüglich diese Vorrichtung ist, lässt sich daraus abnehmen, dass sich bei einer Messung mittelst eines Fernrohres das auf diese Weise auf dem Inselsberge erzeugte Licht vom Brocken aus erkennen liess.

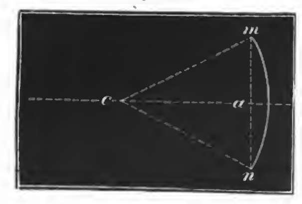
Fig. 229.



Das Kaleidoskop ist eine Erfindung Brewster's und beruht auf der Vervielfältigung der Bilder, welche zwei gegeneinander geneigte Spiegel von einem zwischen ihnen liegenden Gegenstande erzeugen. Schon oben wurde angegeben, dass, wenn man die Anzahl der Grade dieses Winkels mit n bezeichnet, die Anzahl der erzeugten Bilder, den Gegenstand mit gerechnet, $= \frac{360^0}{n}$ ist. Ist $n = 90^0$, so sieht man den Gegenstand vier mal; ist der Winkel $= 60^0$, so erhält man fünf Bilder des Gegenstandes. Ist nun n keine grosse Zahl, so sind die Bilder hinreichend lichtstark und liegen symmetrisch. Bringt man zwischen die Spiegel mehr Objecte, so entstehen vollkommen symmetrische Figuren, d. h. Figuren aus völlig gleichgebildeten Sectoren bestehend. Im Kaleidoskop befinden sich die beiden gegeneinander geneigten Spiegel in einer Röhre, an deren einem Ende eine Oeffnung für das Auge befindlich ist; am andern Ende sind zwischen zwei Plangläsern bunte Körperchen eingeschlossen, welche, wie unregelmässig sie auch beim Drehen des Rohres liegen, doch stets neue symmetrische Figuren bilden.

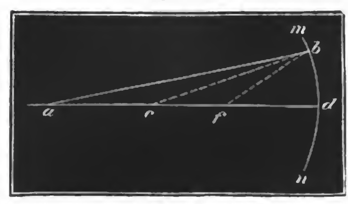
Reflexionserscheinungen an gekrümmten (sphärischen) Hohlspiegeln. Wenn man sich von einer Hohlkugel ein Stück durch eine Ebene abgeschnitten denkt, so hat man einen gekrümmten Hohlspiegel. Je nachdem die spiegelnde Oberfläche durch die hohle oder durch die erhabene Seite hervorgebracht wird, unterscheidet man concave oder convexe Hohlspiegel. Beistehende Zeichnung (Fig. 230) zeigt den Durchschnitt eines Hohlspiegels. Der Mittelpunkt c des sphärischen Ausschnittes heisst der Krümmungsmittelpunkt; die von da auf den Spiegel gezogene Senkrechte ca die Axe des Spiegels; der Centriwinkel mcn die Oeffnung oder Apertur des Spiegels.

Fig. 230.



Wenn sich in a (Fig. 231) ein leuchtender Punkt befindet, so ist die Gerade ad, die durch den Mittelpunkt der Krümmung geht, die Axe des Strahlenkegels, welchen der Spiegel mn empfängt. Der Strahl ab wird in der Richtung bf reflectirt, so dass, wenn man das Einfallsloth durch cb darstellt, der Winkel abc gleich ist dem Winkel fbc. Daher müssen alle Strahlen, welche den Spiegel in Punkten treffen, die mit b in demselben Kreisumfange liegen, nach der Reflexion in dem Punkte f vereinigt werden. Man nennt diesen Punkt den Brennpunkt oder Focus.

Fig. 231.



Ist die Oeffnung des Spiegels nur gleich wenigen Graden, so kann man die Lage des Bildes oder den Brennpunkt f für jede Entfernung, welche man dem leuchtenden Punkte a geben will, durch folgende Formel:

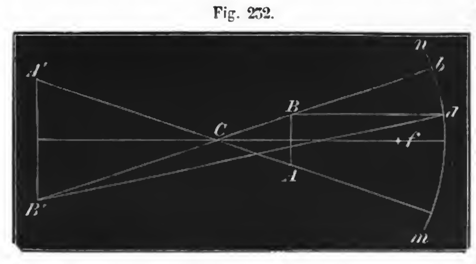
$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{\beta}$$

finden, wenn man mit $2p$ den Radius der Kugel, mit β die Entfernung des leuchtenden Punktes ad, mit α die Entfernung des

Bildes vom Spiegel (die sogenannte Brennweite) bezeichnet. Liegt der leuchtende Punkt *a* unendlich weit, wie es z. B. der Fall ist, wenn Sonnenstrahlen auf den Spiegel fallen, so ist die Brennweite = p, demnach gleich dem halben Radius. Strahlen, welche von einem unendlich weit liegenden, leuchtenden Punkte kommen, sind mit einander parallel. Die Brennweite für parallele Strahlen nennt man die Hauptbrennweite, und den Brennpunkt derselben den Hauptbrennpunkt.

Die von einem leuchtenden Gegenstande ausgehenden Strahlen erzeugen nach der Reflexion von einem Hohlspiegel ein Bild des Gegenstandes. Angenommen, es befinde sich ein Gegenstand *AB* (Fig. 232) zwischen dem Krümmungspunkte *C* und dem Brennpunkte *f*. Derjenige Strahl, welcher vom Punkte *B* senkrecht auf den Spiegel fällt, also *Bb* wird in der Richtung *bB*, der Strahl *Bd*, welcher mit der Axe parallel ist, aber nach dem Brennpunkte *f* reflectirt. Die beiden Strahlen schneiden sich in *B'*, wo sich mithin auch das Bild des Punktes *B* befindet. Auf gleiche Weise entsteht in *A'* das Bild des Punktes *A*. Man erhält also von einem Gegenstande, der sich zwischen dem Krümmungsmittelpunkte und dem Brennpunkte befindet, ein umgekehrtes, vergrössertes Bild jenseits *C*. Wäre aber dagegen *A'B'* der Gegenstand, so würden die von ihm ausgehenden Strahlen das Bild *BA* erzeugen.

Fig. 232.

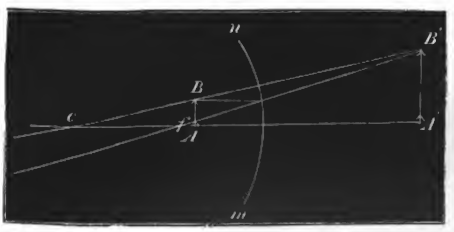


Die erwähnten Bilder entstehen durch Vereinigung der reflectirten Lichtstrahlen; sie lassen sich auf einem Papier- oder Glasschirme auffangen und verbreiten dann ihr Licht, gleich einem leuchtenden Gegenstande, nach allen Richtungen. Zum Unterschiede von anderen nennt man diese Bilder Sammelbilder.

Befindet sich der Gegenstand *AB* (Fig. 233) zwischen dem Brennpunkte und dem Spiegel, so fällt das Bild *B'A'* hinter den Spiegel und steht aufrecht. Da die Strahlen den undurchsichtigen Spiegel nicht durchdringen können, so ist das Bild nie ein wahres.



Fig. 253.



Man benutzt die sphärischen Hohlspiegel als **Brennspiegel**, welche bestimmt sind, die Sonnenstrahlen durch Reflexion auf einen engen Raum hinzuleiten, um eine grosse Hitze hervorzubringen. Die Kraft eines Brennspiegels ist desto grösser, je mehr Flächeninhalt und eine je kürzere Brennweite er hat. Beim sphärischen Hohlspiegel vereinigen sich nie alle Strahlen genau in einem Punkt, sondern nur diejenigen, welche nahe der Axe einfallen; bei einem parabolischen Spiegel werden dagegen alle Strahlen im Brennpunkte gesammelt, wenn sie parallel zur Axe einfallen.

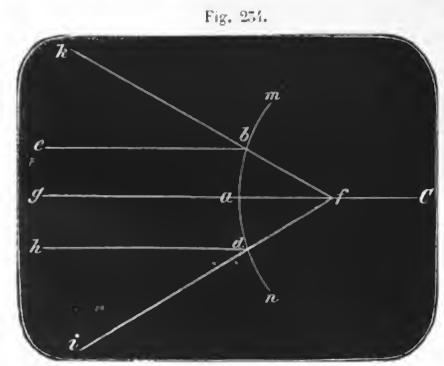
Die grössten Brennspiegel sind die von Vilette (von 30″ Durchmesser und 3′ Brennweite) und von Tschirnhausen (von 6′ Durchmesser und 4′ Brennweite), vermittelst deren die strengflüssigsten Metalle zum Schmelzen und Erden zum Verglasen gebracht wurden. Archimedes soll die Schiffe der Römer, als sie seine Vaterstadt Syrakus belagerten, durch Brennspiegel in Brand gesteckt, und im Jahre 514 n. Chr. Proklus dasselbe gegen die Flotte des Vitalianus vor Constantinopel gethan haben. Obgleich die Brennweite der Spiegel des Archimedes sehr bedeutend hätte sein müssen, so haben doch die von Anthemius, und später von Kircher und Buffon vermittelst aus kleinen, ebenen Spiegeln zusammengesetzten Brennspiegel angestellten Versuche dargethan, dass die Erzählung von der Verbrennung der römischen Flotte mindestens nicht in das Bereich der Unmöglichkeit gehört. Buffon entzündete mit 128 Spiegeln auf 150 Fuss Entfernung ein getheertes tannenes Bret.

Die wichtigste Anwendung der Brennspiegel ist die Benutzung derselben auf Leuchtthürmen, auf welchen in den Brennpunkt des Spiegels eine Lampe gestellt wird, deren Strahlen durch die Reflexion alle einerlei Richtung, nämlich die Spiegelaxe, anzunehmen gezwungen sind, und also durch Ausbreitung nicht geschwächt werden. — Der Umstand, dass, wenn das Object im grösseren Abstande vom Spiegel als der Krümmungsmittelpunkt ist, das Bild von dem Spiegel als **Luftbild** erscheint, hat zur Construction phantasmagorischer Apparate Veranlassung gegeben.

Bei **convexen Spiegeln** ist kein Punkt vorhanden, in welchem die Strahlen nach der Reflexion wirklich vereinigt werden.

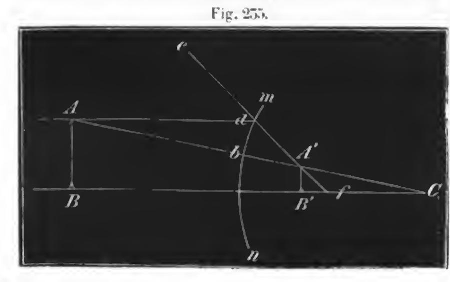
Während die Hohlspiegel die Lichtstrahlen convergent, oder, wenn sie sehr divergent sind, doch minder divergent zu machen streben, verhalten sich die convexen Spiegel umgekehrt, indem sie die Lichtstrahlen divergent machen oder mindestens ihre Convergenz vermindern. mn (Fig. 234) sei ein Convexspiegel, dessen optischer Mittelpunkt in a, dessen Kugelmittelpunkt sich in C befinde. Treffen den Spiegel nun die Strahlen eb, ga und hd, so wird der Strahl ga in sich zurückgeworfen, weil er senkrecht den Spiegel trifft, die anderen beiden Strahlen eb und hd werden so reflectirt, als wenn sie aus einem hinter dem Spiegel befindlichen Punkte kämen. Da die Strahlen in paralleler Richtung den Spiegel trafen, so divergiren sie nach der Reflexion so, als ob sie aus dem Brennpunkte f herrührten, welcher in der Mitte zwischen dem Spiegel und dem Krümmungspunkte liegt.

Fig. 234.



Befindet sich der Gegenstand AB (Fig. 235) vor dem Spiegel mn, so wird der senkrecht auffallende Strahl Ab (der mithin die Richtung nach dem Krümmungspunkte C besitzt) in sich reflectirt, während der mit der Axe parallele Strahl Ad nach de so reflectirt wird, als ob er von dem eingebildeten Brennpunkte f herrührte. Die reflectirten Strahlen Ab und Ad schnei-

Fig. 235.



den sich rückwärts in dem Punkte A', wo mithin dem Auge das Bild des Punktes A erscheint. Auf ähnliche Weise erhält man das Bild des Punktes B in B', und so alle zwischen A und B liegende Punkte in $A'B'$. Da das scheinbare Bild des Spiegels dem Mittelpunkte C näher liegt, so ist es stets kleiner, als der vor dem Spiegel befindliche Gegenstand. Die Grösse des Bildes ergiebt sich aus der Proportion:

$$A'B' : AB = A'C : AC.$$

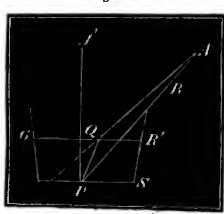
Die Anwendung des Convexspiegels ist eine sehr beschränkte. Er kann benutzt werden, um Landschaften u. s. w. behufs des Nachzeichnens in verjüngtem Massstabe zu betrachten. Hierauf gründen sich die katoptrischen Anamorphosen, d. h. die auf optischem Wege hervorgerufenen Umwandlungen einer nach einem bestimmten Gesetze gezeichneten Figur in die umgekehrte Form.

Die Brennlinien. Wenn von einem leuchtenden Punkte Lichtstrahlen auf eine gekrümmte reflectirende Fläche fallen, so gehen die reflectirten Strahlen im Allgemeinen nicht durch denselben Punkt, und es bilden vielmehr die Durchschnittspunkte je zwei benachbarter Strahlen eine Fläche. Man nennt diese Fläche Brennfläche oder kaustische Fläche. Die Linie, welche die Durchschnittspunkte der durch die Erzeugungslinie der reflectirten Fläche abgelenkten Strahlen enthält, heisst Brennlinie oder kaustische Curve und ist zu gleicher Zeit die Erzeugungslinie der entsprechenden Brennfläche.

Von der Brechung oder Refraction des Lichtes (*Dioptrik*).

Unter der Brechung (Refraction) des Lichtes versteht man die Ablenkung, welche ein Lichtstrahl beim Uebergange aus einem Mittel in ein anderes erfährt.

Fig. 236.



Die ganze Erscheinung wird durch folgenden Versuch leicht begreiflich. GS (Fig. 236) sei ein Gefäss, P ein Punkt auf dem Boden desselben, R der Rand des Gefässes. Das Gefäss sei leer und das Auge des Beobachters befinde sich bei A so, dass dasselbe über R hinweg P sieht; in diesem Falle ist AP eine gerade Linie und P scheint für das Auge unmittelbar bei R zu liegen; AP ist die Richtung des von P kommenden Lichtes in der Luft. Füllt man nun aber das Gefäss voll Was-

ser bis GR', so erscheint der Punkt P dem Auge bei A nicht mehr unmittelbar bei R, sondern etwas weiter vom Rande ab bei Q. Der Punkt P erscheint also dem Auge in der Richtung AQ. Da aber sowohl das Auge bei A, als auch der Punkt P sich genau in derselben Lage befinden als vorher, so muss der Grund der Erscheinung in dem Umstande liegen, dass an die Stelle der Luft, durch die vorher P gesehen wurde, zum Theil Wasser getreten ist. Das von P ausgehende Licht muss sich demnach im Wasser in der Richtung PQ, und darauf in der Luft in der Richtung QA fortpflanzen. Folgender Versuch ist geeignet, dies noch deutlicher zu machen. Bringt man in irgend einen Punkt der Richtung AQ einen undurchsichtigen Körper, so sieht das Auge den Körper P nicht mehr; dasselbe findet statt, sobald man den undurchsichtigen Körper in einen Punkt der Richtung QP bringt. Daraus folgt, dass PQ und QA die verschiedenen Richtungen angiebt, in welchen das Licht durch Wasser und Luft sich fortsetzt; diese beiden Richtungen PQ und QA bilden mit einander den Winkel, und man sagt in Folge dessen, das Licht werde bei seinem Uebergange von Wasser und Luft gebrochen. Ein Brechungswinkel ist beim Uebergange aus einem Mittel in das andere nur dann *nie* zu bemerken, wenn das Auge senkrecht über P, also in A', steht; in diesem Falle sieht das Auge den Punkt P stets in der zweiten Linie.

GE (Fig. 237) begrenze zwei verschiedenartige Mittel und sei die *brechende Fläche*. Der Strahl gehe durch das obere Mittel in der Richtung AB und bilde mit der Senkrechten SB den Winkel ABS. Die Senkrechte SB heisst das *Einfallsloth*, und der Winkel ABS, den der einfallende Strahl mit dem Einfallsloth bildet, der *Einfallswinkel*. In dem unteren Mittel unterhalb GE gehe der Strahl (der nun der *gebrochene Strahl* heisst) in der Richtung BD fort. Dann ist der Winkel RBD (der *Brechungswinkel*) grösser oder kleiner als der Winkel ABS. Ist $RBD > ABS$, so sagt man, der Strahl werde *von dem Einfallslothe abgebrochen*; ist aber $RBD < ABS$, so sagt

Fig. 237.

man, der Strahl werde auf das Einfallsloth zugebrochen. Die Ebene des Einfallswinkels heisst Einfallsebene, die des Brechungswinkels Brechungsebene. Theilt sich der einfallende Strahl beim Eintritt in das zweite Mittel in zwei Strahlen, so nennt man dasselbe doppelt brechend, und die Brechung doppelte Brechung; bleibt der Lichtstrahl ungetheilt, so nennt man das Mittel einfach brechend, und die Brechung eine einfache.

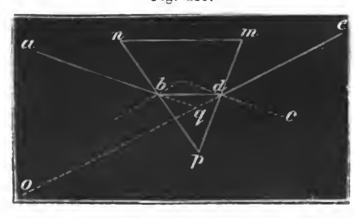
Sind beide Mittel einfach brechend, so findet das Gesetz statt, ***dass der gebrochene Strahl*** (*BD*) ***stets in der Einfallsebene liegt.*** Nimmt man eine beliebige *BO* in den Zirkel und schlägt mit derselben als Halbmesser eine Kreislinie um *B* als Mittelpunkt, fällt darauf eine Senkrechte *OM* von *O* auf *BS*, und eine andere *QN* von *Q* auf *BR*, so findet zwischen *OM* und *QN* ein gewisses Verhältniss statt. Wie auch immer die Neigung der Linie *AB* gegen *BS* sein möge, so wird man immer zwei Linien wie *OM* und *QN* zeichnen können, und es ist ein zweites Gesetz der Brechung, dass, so lange die brechenden Körper dieselben bleiben, das Verhältniss dieser Linien für jede Neigung der Linie *AB* gegen *BS* = OM : QN. Man kann dieses Gesetz auch folgendermassen ausdrücken: ***Für dasselbe brechende Mittel ist das Verhältniss zwischen den Sinussen des Einfallswinkels und des Brechungswinkels constant und unabhängig von der Neigung des einfallenden Strahles gegen das Einfallsloth.***

Wenn man den Sinus des Einfallswinkels durch den Sinus des Brechungswinkels dividirt, oder im Sinne der Undulationstheorie, wenn man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des gebrochenen Strahles durch die des einfallenden dividirt, so erhält man eine Zahl, welche man das Brechungsverhältniss oder den Brechungsexponenten nennt. Nimmt man den leeren Raum als das erste Mittel, so heisst n der absolute Brechungsexponent des zweiten Mittels; dieser Coëfficient ist für alle bekannten Körper grösser = 1, mit andern Worten, die Geschwindigkeit des Lichtes ist in allen bekannten Körpern geringer, als im leeren Raume. Je geringer diese Geschwindigkeit ist, desto mehr wird der einfallende Strahl von seiner Bahn abgelenkt und dem Lothe genähert, desto stärker brechend ist das Mittel. Brennbare Körper haben gewöhnlich ein stärkeres Lichtbrechungsvermögen als nicht brennbare. Hieraus schloss schon Newton, dass der Diamant, der ein sehr grosses Brechungsvermögen hat, ein brennbarer Körper sein müsse, was auch später bestätigt wurde.

Schon in alten Zeiten (Ptolemäus, 70 Jahre n. Chr.) ist die Erscheinung der Brechung beobachtet worden. Das Gesetz des Constantseins des Brechungsexponenten ist von Snellius aufgefunden und unter dem Namen des Cartesius'schen Gesetzes bekannt, da durch Descartes dasselbe allgemein bekannt geworden ist.

Wird das Mittel nicht von parallelen Ebenen begrenzt und bilden die Ebenen, durch welche der Lichtstrahl ein- und austritt, einen Winkel, so nennt man das brechende Mittel ein Prisma, und die Linie, in der diese beiden Flächen sich durchschneiden, die brechende Kante des Primas. Zu Versuchen über die Brechung des Lichtes in Prismen wendet man gewöhnlich dreiseitige Prismen an. Es sei *mnp* (Fig. 238) der Durchschnitt eines solchen Prismas, *ab* der auffallende, *de* der gebrochene Strahl. Die Kante, deren Durchschnitt *p* angegeben ist, ist die brechende Kante, und der Winkel *npm* der brechende Winkel. Der Einfallswinkel ergiebt sich, indem man auf *nm* das Einfallsloth *bo* errichtet und dazu den betreffenden Brechungswinkel construirt. Die Construction lehrt, dass, wenn der Lichtstrahl nicht gebrochen worden wäre, er nach *c* gelangt sein würde, während er durch die Brechung aber nach *e* hinauf gelenkt wird. Der abgelenkte Strahl *qe* bildet mit dem directen Strahle *qc* den Winkel *cqe*, um welchen der Strahl von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt wird. Man findet, dass Gegenstände, durch ein Prisma betrachtet, bedeutend von dem Orte, den sie wirklich einnehmen, verrückt erscheinen; ist der brechende Winkel des Prismas nach oben gerichtet, so erscheinen die Gegenstände gehoben; dagegen erscheinen dieselben erniedrigt, wenn der brechende Winkel nach unten gerichtet ist.

Fig. 238.

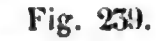


Wenn man einen Sonnenstrahl durch ein Prisma auffängt, so beobachtet man gleichfalls eine Ablenkung und eine Färbung, von diesen Farbenerscheinungen (der Zerlegung des Lichtes) wird später ausführlicher die Rede sein.

Bestimmung des Brechungsexponenten fester, flüssiger und gasförmiger Körper. Da der Brechungsexponent für jeden Einfallswinkel der nämliche ist, so lange nur die chemische Zusammensetzung und die Temperatur des Körpers unver-

ändert bleiben, so genügt es zu seiner Messung, einen Einfallswinkel und den dazu gehörigen Brechungswinkel sorgfältig zu messen. Diese Messungen können aber auf keine andere Weise ausgeführt werden, als an dem Prisma. Will man also den Brechungsexponenten eines festen Körpers bestimmen, so schleift man aus demselben ein Prisma und bestimmt den brechenden Winkel desselben und die kleinste Ablenkung, welche jener Strahl durch das Prisma erleidet. Die Berechnung kann nur mit Hülfe der Trinogometrie durchgeführt werden.

Um den Brechungsexponenten tropfbarflüssiger Körper zu messen, schliesst man dieselben in Hohlprismen ein, deren brechende Flächen durch Spiegelplatten gebildet sind. Am zweckmässigsten benutzt man Glasprismen, wie Fig. 239 andeutet, welche durchbohrt sind und auf deren Seitenflächen die Spiegelplatten mittelst Metallfassungen aufgepresst werden. Vor dem Gebrauche muss man sich versichern, ob die Spiegelplatten für sich schon eine brechende Wirkung äussern und wie gross dieselbe ist, um sie bei jeder folgenden Messung in Rechnung bringen zu können.


Fig. 239.



Rudberg hat, um die Messung des Brechungsexponenten bei verschiedenen Temperaturen vornehmen zu können, die Prismen mit zwei Hüllen von Blech umgeben, zwischen denen heisse Wasserdämpfe hindurchgeleitet werden, während ein in dem inneren Raume befindliches Thermometer die Temperatur des Prismas angab und Fenster von Glimmerscheiben dem Lichtstrahle den Durchgang gestatteten. Bei der Brechung ist hierbei zu berücksichtigen, dass das Prisma von verdünnter Luft umgeben ist, und dass das Licht aus derselben noch in die dichtere Luft des umgebenden Raumes übergeht.

Der Emissionstheorie zufolge nimmt die Geschwindigkeit des Lichtes zu, wenn dasselbe aus einem weniger brechenden Mittel in ein stärker brechendes übergeht. Diese Zunahme, welche die Geschwindigkeit des Lichtes nach der Emissionstheorie beim Uebergange aus dem leeren Raume in ein brechendes Mittel erhält, bezeichnete man mit dem Namen brechende Kraft des Mittels. Wird der Brechungsexponent mit n bezeichnet, so ist die brechende Kraft des Mittels $n^2 - 1$. Wenn man die brechende Kraft eines Mittels durch seine Dichte d dividirt, so erhält man den Quotienten $\frac{n^2 - 1}{d}$, welchen man das specifische Brechungsvermögen des Mittels nennt.

Folgende Tabelle enthält die Brechungsexponenten von einigen festen und flüssigen Körpern (der Brechungsexponent des leeren Raumes ist = 1 gesetzt):

Aether	1,358	Olivenöl	1,469
Alaun	1,457	Rüböl	1,475
Alkohol	1,374	Salpeter	1,535
Arragonit	1,635	Salpetersäure (von 1,48 spec. Gew.)	1,410
Bergkrystall	1,548	Salzsäure (von 1,134 ,, ,,)	1,401
Bleizucker	1,400	Schwefel	2,040
Borax	1,475	Schwefelkohlenstoff	1,634
Diamant	2.439	Smaragd	1,585
Eis	1,308	Spiessglanzglas	2,216
Feldspath	1,764	Terpentinöl	1,476
Flussspath	1,436	Topas (farblos)	1,610
Glas, Krownglas	1,50 — 1,56	Wasser	1,336
,, Flintglas	1,6 — 1,8	Weinsteinsäure	1,575
Granat	1,815	Zirkon	2,015
Kalkspath	1,654	Zucker	1.535.
Kupfervitriol	1,552		

Gasarten ändern ihr Brechungsverhältniss mit ihrer Dichte und man bezieht dasselbe daher auf die Temperatur von 0° und auf einen Barometerstand von 760 Millimetern. Da es aber bekannt ist, dass die Differenz $n^2 - 1$ der Dichte proportional zunimmt, so kann man das bei jeder Luftbeschaffenheit gefundene Brechungsverhältniss auf den Normalzustand reduciren. Kennt man den Brechungsexponenten der atmosphärischen Luft, so bestimmt man das der übrigen Gasarten am besten nach Dulong's Verfahren. Derselbe benutzte ein hohles Prisma mit ebenen Glaswänden von einem brechenden Winkel von 135° und setzte dasselbe mit einem Apparat in Verbindung, vermittelst dessen die atmosphärische Luft entfernt und das zu untersuchende Gas eingefüllt werden konnte, und zwar so, dass sich die Dichte des letzteren willkührlich ändern und messen liess. Nachdem das Prisma mit atmosphärischer Luft gefüllt worden war, richtete er ein Fernrohr so, dass er durch dasselbe einen fernen Gegenstand sah, ersetzte dann die Luft durch das zu untersuchende Gas, und verdichtete und verdünnte dasselbe so lange, bis der Gegenstand bei derselben Fernrohrstellung wieder in dessen Axe erschien. Der Brechungsexponent ist sodann dem der umgebenden Luft gleich, und aus der Dichte dieser Luft und der Gasart findet sich der Werth n für den Normalzustand.

Den Brechungsexponenten der atmosphärischen Luft (auf den leeren Raum bezogen) bestimmten Biot und Arago aus der Ablenkung durch ein ähnliches, mit Luft angefülltes Prisma, und aus der Grösse der Dichtigkeit der äusseren und der verdünnten Luft.

Biot und Arago erhielten aus ihren Versuchen das Resultat, dass ***die brechende Kraft der Gase ihrer Dichte proportional ist.***

Dieses Gesetz findet auch auf gemischte Gase und Dünste Anwendung, so dass, wenn eine Verbindung ohne Verdichtung stattfindet, die Summe der Producte aus den Gewichtsmengen der Bestandtheile in ihren Brechungsvermögen, dividirt durch das Gewicht der Verbindung, dem specifischen Brechungsvermögen der letzteren gleich ist. Bei Gasen, die sich in einem einfachen Raumverhältnisse verbinden, addirt man die absoluten Brechungsvermögen für jeden einzelnen Raumtheil, und dividirt die Summe durch das Volumen der Verbindung. Bei Gemengen trifft die theoretisch gefundene Kraft mit der beobachteten überein; bei einem chemisch zusammengesetzten Gase findet eine solche Beziehung nicht statt. Beim Uebergange aus dem gasförmigen Zustande in den tropfbarflüssigen und starren Zustand bleibt das specifische Brechungsvermögen nicht ungeändert, es scheint stets zuzunehmen.

Folgende Tabelle enthält die brechende Kraft einiger Gase (die brechende Kraft der atmosphärischen Luft = 1 gesetzt).

Ammoniak	1,309	Salzsäuredampf	1,527
Chlor	2,623	Aetherdampf	5,197
Cyan	2,832	Schwefelwasserstoff	2,187
Cyanwasserstoff	1,531	Schweflige Säure	2,260
Kohlenwasserstoff (CH_2)	1,504	Schwefelkohlenstoffdampf	5,110
Kohlenwasserstoff (CH)	2,302	Stickstoff	1,020
Kohlenoxyd	1,157	Stickstoffoxyd	1,03
Phosphorwasserstoff	2,632	Stickstoffoxydul	1,710
Sauerstoff	0,924	Wasserstoff	0,470
Chloräthyldampf (C_4H_5Cl)	3,72		

Es folgen nun die Brechungsexponenten und die absolut brechende Kraft einiger Gase:

	I.	II.
Ammoniak	1,000449	0,000899
Cyan	1,000834	0,001668
Cyanwasserstoff	1,000451	0,000903
Kohlenwasserstoff (CH_2)	1,000443	0,000886
Kohlenwasserstoff (CH)	1,000678	0,001356
Kohlenoxyd	1,000340	0,000681
Phosphorwasserstoff	1,000789	0,001579
Sauerstoff	1,000272	0,000544
Chloräthyldampf (C_4H_5Cl)	1,001095	0,002191
Salzsäuredampf	1,000449	0,000899
Schwefelwasserstoff	1,000644	0,001288
Schweflige Säure	1,000665	0,001331
Schwefelkohlenstoffdampf	1,00150	0,003010

	I.	II.
Sauerstoff	1,000272	0,000544
Stickstoff	1,000300	0,000601
Wasserstoff	1,000138	0,000277.

Die brechende Kraft der Gasarten in Vergleich zu der der Luft ist direct das Resultat des Versuches; multiplicirt man diese Zahlen mit der absolut brechenden Kraft der Luft (= 0,000589), so erhält man die absolut brechende Kraft, welche in der vorstehenden Tabelle mit II. bezeichnet ist. Um aus der absolut brechenden Kraft den Brechungsexponenten zu finden, hat man 1 dazu zu addiren und dann die Quadratwurzel auszuziehen.

Da die atmosphärische Luft, so wie jedes andere Gas die Eigenschaft besitzt, die auf sie fallenden Lichtstrahlen zu brechen und ihnen eine andere Richtung zu geben, und die Gase ferner das Licht um so stärker brechen, je dichter sie sind, so muss jeder Lichtstrahl, der von einem Weltkörper auf unsere Atmosphäre fällt, in derselben immer mehr und mehr abgelenkt werden und eine krumme Linie beschreiben. Die Folge davon ist, dass wir die Sonne, und überhaupt alle Körper des Himmels, an einem ganz andern Orte sehen, als an dem, welchen sie in der That einnehmen. Für alle Orte der Erde scheint demnach die Sonne früher auf- und später unterzugehen, als sie in der Wirklichkeit durch den Horizont dieser Orte geht. Am Horizont beträgt diese Strahlenbrechung ungefähr einen halben Grad.

Steinheil benutzte die Brechung des Lichtes zur quantitativen Analyse und ganz vorzüglich zur Bestimmung des Gehaltes von Alkohol und Extract im Bier. Seine Methode gründet sich auf die Beobachtung zweier Eigenschaften des Bieres, nämlich seiner lichtbrechenden Kraft, die vermittelst eines besonderen optischen Apparates gemessen wird, und seines specifischen Gewichtes, das man durch ein Aräometer bestimmt. Eine aräometrische Bestimmung allein ist nicht ausreichend, weil ein geringeres specifisches Gewicht ebenso gut von grösserem Gehalt an Alkohol, als von geringerem Extractgehalt herrühren kann. Steinheil bediente sich zur Bestimmung der beiden Unbekannten eines cylindrischen Gefässes, das durch drei eingesetzte Plangläser in zwei Flüssigkeitsprismen mit gleichem, aber entgegengesetzt liegenden brechenden Winkel getheilt ist. Durch diese Prismen betrachtet man einen vertical gespannten Metallfaden mittelst eines Mikroskopes, dessen Ocularfäden den Metallfaden halbiren, so lange die Prismen leer oder beide mit destillirtem Wasser gefüllt sind. Wenn man das Wasser in dem einen Prisma durch ein starkes Normalbier ersetzt, so erscheint der Metallfaden in horizontalem Sinne verschoben, und wird dann mittelst einer Mikrometerschraube in die vorige Lage zurückgebracht. Der Bogen, welchen hierbei der Kopf der Mikrometerschraube durchläuft, ist in 60 Theile getheilt, und wird noch ungefähr 20 Theile über den letzten Punkt weiter fortgeführt. Bezeichnet man mit α den Procentgehalt, mit β den an Extract, mit A die Ablesung am Aräometer, mit B die an der Mikrometerschraube, so sind, nach Steinheil, folgende beiden Gleichungen ausreichend:

$$A = M + N\alpha + N'\beta,$$
$$B = m + n\alpha + n'\beta.$$

Aus diesen folgt:

$$\alpha = P + Q \, . \, A + R; \quad B_1\beta = p + qA + rB.$$

In Bezug auf das Brechungsvermögen fester Körper sei noch folgendes erwähnt. Die Methode zur Bestimmung des Brechungsvermögens fester Körper aus denselben Prismen zu bilden, ist häufig unausführbar, namentlich, wenn der zu untersuchende Körper nur in kleinen Stücken vorhanden ist. Brewster brachte deshalb, um dies zu umgehen, die Körper in eine Flüssigkeit, welcher er durch Mischen von Flüssigkeiten von bekanntem Brechungsvermögen dasselbe Brechungsvermögen gab, welches der feste Körper hatte. Hat die Flüssigkeit dasselbe Brechungsvermögen, wie der feste Körper, so erscheint der letztere, wenn er gleich vorher wegen der Unebenheiten seiner Oberfläche undurchsichtig erschien, vollkommen durchsichtig. So brachte Brewster ein Stück Crownglas, das eine völlig undurchsichtige Oberfläche hatte, in canadischen Balsam, wodurch das Glas völlig durchsichtig wurde. Aus dem Brechungsvermögen der Flüssigkeit lässt sich dann das des festen Körpers berechnen.

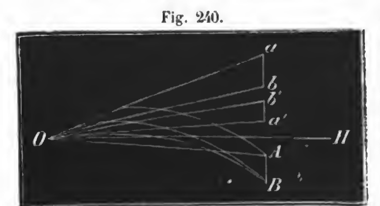
Es liegt auf der Hand, dass das von Brewster angegebene Verfahren, Körper, die wegen ihrer rauhen Oberfläche undurchsichtig sind, durchsichtig zu machen, Optikern und Juwelieren grosse Vortheile gewähren muss. Der Optiker, der die Brechungsverhältnisse eines Glases untersuchen will, hat nicht erst nöthig, Prismen aus demselben zu schneiden. Der Juwelier kann der Unsicherheit, ob ein von aussen gut aussehender Edelstein nicht vielleicht inwendig rissig ist, ganz ausweichen; denn er braucht den Stein nur in Sassafrasöl oder in ein anderes ätherisches Oel zu tauchen, so erkennt er alsdann in dem fast ganz durchsichtig gewordenen Steine alle Risse. Eben dieses Mittel dient auch, künstliche Pasten von wahren Edelsteinen zu unterscheiden, da sie nicht gleiches Brechungsvermögen besitzen. Eine Mischung von Cassia- und Olivenöl ist zu diesen Versuchen für eine grosse Menge von Körpern brauchbar, wenn für jeden das richtige Verhältniss ausgemittelt wird.

Vom Glanz. Mit dem Namen Glanz bezeichnet man den Eindruck, welchen die Intensität der Lichtausströmung eines Körpers auf das Auge hervorbringt. Man hat vom Glanze der Körper fast nur in der Mineralogie einen wissenschaftlichen Gebrauch gemacht. Man unterscheidet die Art und die Stärke des Glanzes. Als verschiedene Arten des Glanzes führt man auf: 1) Metallglanz, der sich bei undurchsichtigen Körpern findet und die stärkste Reflexion bezeichnet; 2) Diamantglanz, ein Metallglanz in Verbindung mit Durchsichtigkeit und Durchscheinbarkeit; 3) Fettglanz, der offenbar in geringerer Reflexion als der Metallglanz beruht;

derselbe zeigt sich bei allen fetten Oelen, beim Granat, Pechstein, Eläolith, Fettquarz u. s. w.; 4) Glasglanz, den wir beim Glase, Quarz, Smaragd, beim Wasser, Eise u. s. w. finden. Bei vorhandenen Lamellen findet sich Perlmutterglanz; bei faserigen Körpern (Asbest, Seide, Fasergyps) Seidenglanz. Besteht ein Körper aus einem Aggregat verschwindend kleiner Theilchen, so heisst er schimmernd (Feuerstein, Thonschiefer). Die Abwesenheit alles Glanzes wird durch matt bezeichnet. Der Glanz, welchen Körper auf polirten Oberflächen zeigen, wächst mit ihrem Brechungscoëfficienten; so haben Metallglanz solche Körper, deren Brechungsverhältnisse zwischen 2,6 und 5,0 liegen, Diamantglanz solche zwischen 2,0 und 2,6, Glasglanz solche zwischen 1,3 und 2,0.

Die Luftspiegelung (Seegesicht, *Fata Morgana*). Obgleich die Brechung des Lichtes in der Luft in der Regel so erfolgt, dass ein horizontal oder abwärts fahrender Strahl eine nach oben convexe Bahn einschlägt, weil die Luft oben gewöhnlich dünner ist als unten, so kann doch der Fall vorkommen, dass in Folge der höheren Temperatur der unteren Luftschichten das Gegentheil stattfindet und ein aufwärts fahrender Strahl wieder gekrümmt wird. Dadurch wird es möglich, dass von Gegenständen, die unter dem Horizonte liegen, Strahlen ins Auge gelangen und dass diese Gegenstände sichtbar werden. Diese Erscheinungen sind unter dem Namen der Luftspiegelung bekannt. Von dem relativen Laufe der Strahlen ist es abhängig, ob das Bild aufrecht oder verkehrt, natürlich gebildet oder verzerrt erscheint. *AB* (Fig. 240) sei ein Gegenstand, der sich unter dem Horizonte *OH* des Auges *O* befinde. Werden die von *AB* ausgehenden Strahlen so gebrochen, dass sie die Krümmungen *AO* und *BO* bilden, so erscheint *AB* oberhalb *OH* in *ab*. Werden die Strahlen, welche sonst über dem Auge vorbeigegangen wären, in dasselbe abgelenkt, so kann ausser *ab* noch ein zweites Bild *a'b'* erscheinen, das verkehrt ist, wenn der untere Strahl eine mehr convexe Bahn beschreibt als der obere. Die aufrechten Bilder von Landschaften in der Luft haben den Anschein von Inseln, während das verkehrte Bild, wenn es nahe genug an das aufrechte herantritt, einem in dem vermeinten Wasser entstehenden Spiegelbilde desselben gleicht.

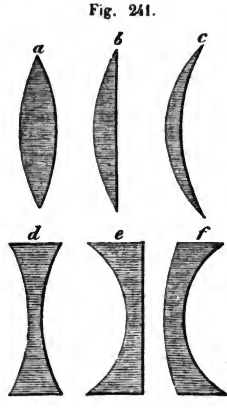
Fig. 240.



Linsen.

Unter einer Linse versteht man jedes durchsichtige Mittel, welches von zwei Kugelsegmenten und einer ebenen Fläche begrenzt wird. Man unterscheidet sechs Formen von Linsen, welche die folgenden Abbildungen (Fig. 241) im Durchschnitte zeigen. *a* stellt eine auf beiden Seiten erhabene (eine biconvexe) Linse dar, welche von zwei convexen Kugelsegmenten begrenzt wird; *b* ist eine planconvexe Linse, welche durch eine ebene und eine convexe Fläche begrenzt wird; *c* und *f* sind concav-convexe Linsen, welche auf der einen Seite von einer concaven, auf der andern von einer convexen Fläche begrenzt werden (die concav-convexen Linsen werden auch Menisken genannt); *d* ist eine biconcave, *e* eine planconcave Linse.

Fig. 241.



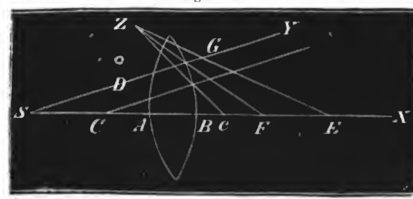
Linsen, welche in der Mitte dicker sind, als am Rande, nennt man Sammellinsen (wie *a*, *b* und *c*); solche, welche in der Mitte dünner sind, als am Rande, Zerstreuungslinsen (wie *d*, *e* und *f*).

Diejenige gerade Linie, welche durch die Mittelpunkte der Krümmung beider Flächen geht, oder, wenn eine Fläche eben ist, auf dieser senkrecht steht und den Krümmungsmittelpunkt der andern Fläche in sich enthält, heisst die Axe der Linse. Der Punkt der Axe in der Mitte der Linse heisst der optische Mittelpunkt, und eine Linse wird centrirt genannt, wenn alle Theile um die Axe symmetrisch liegen.

Die Linsen sind gewöhnlich aus Glas gefertigt, zuweilen stellt man dieselben aber auch aus durchsichtigen Edelsteinen dar, oder bildet sie aus Glasschalen, die mit irgend einer durchsichtigen Flüssigkeit gefüllt werden. — Ausser den Linsen, deren Grenzflächen nur Stücke von Kugeloberflächen sind (sphärische Linsen) unterscheidet man noch elliptische, parabolische, cylindrische u. s. w.

Ein Lichtstrahl *SX* (Fig. 242), der in der Richtung der Axe auf eine biconvexe Linse fällt, geht ungebrochen durch dieselbe, weil

Fig. 242.



die Tangenten der Punkte A und B, welche er trifft, mit einander parallel sind, der Einfallswinkel und der Brechungswinkel somit gleich Null ist. Jeder andere zur Linse gehende Lichtstrahl wird aber gebrochen. Um die Ablenkung zu bestimmen, sei SDY ein Strahl, welcher mit der Axe einen sehr kleinen Winkel bildet, C und c die Krümmungsmittelpunkte der Linse, D der Einfallspunkt des Strahles SY; ZDc das Einfallsloth, DE die Richtung des Strahles nach der ersten Brechung, G der Punkt beim Austritt des Strahles aus der Linse, CG das Einfallsloth, GF der Strahl nach der zweiten Brechung, und n der Brechungsexponent für den Uebergang des Lichtes aus der Luft in die Linse. Setzt man der Kürze halber $SA = a$, $AF = \alpha$, $AE = k$, $CG = f$, $ED = g$ und nimmt an, dass $SD = SA$, $DE = BE$ sei, so ist dem Gesetze der Brechung zufolge: $\sin SDZ : \sin cDE = n : 1$, und in den Dreiecken cDE, SDc:

$$\sin DcS : \sin SDc = SD : Sc$$
$$\sin cDE : \sin DcE = cE : DE.$$

Multiplicirt man nun die drei Proportionen mit einander, so erhält man:

$$Sc \,.\, DE = n \,.\, SD \,.\, cE, \text{ d. h. } (a + g)k = na(k - g);$$

demnach:

$$nag + gk = (n - 1)ak,$$

woraus durch Division mit agk folgt:

$$(n - 1)\frac{1}{g} = \frac{n}{k} + \frac{1}{a}.$$

Ebenso lässt sich eine Gleichung für die Brechung des Strahles DE an der zweiten Fläche der Linse finden. Man tauscht n, g, a, k gegen $\frac{1}{n}$, $-f$, $-k$, α um, dadurch wird:

$$\frac{1}{n\alpha} - \frac{1}{k} = -\left(\frac{1}{n} - 1\right)\frac{1}{f} \quad \text{oder}$$

$$\frac{1}{\alpha} - \frac{n}{k} = (n - 1)\frac{1}{f}.$$

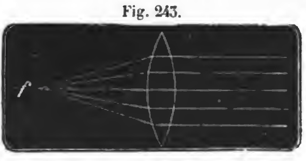
Durch Addition der Gleichungen ergiebt sich aber

$$(n-1)\left(\frac{1}{f}+\frac{1}{g}\right)=\frac{1}{a}+\frac{1}{\alpha}.$$

Aus dieser Gleichung lassen sich folgende Brechungsgesetze des Lichtes in Linsen folgern:

1) Strahlen, welche von einem unendlich weit entfernten Punkte herkommen und daher parallel auf die Linse fallen, vereinigen sich in einem Punkte f (Fig. 243) hinter der Linse. Diesen Punkt f nennt man den **Brennpunkt** oder **Focus**, und seine Entfernung von der Linse die **Brennweite**.

Fig. 243.



2) Je mehr sich der leuchtende Punkt der Linse nähert, oder je divergirender die Strahlen auffallen, desto weniger convergirend sind sie nach der Brechung.

3) Befindet sich der leuchtende Punkt in der doppelten Brennweite vor der Linse, so vereinigen sich die von ihm ausgehenden Strahlen in derselben Entfernung hinter der Linse.

4) Befindet sich der leuchtende Punkt im Brennpunkte, so werden die Strahlen durch die Brechung parallel (Fig. 243).

5) Befindet sich der leuchtende Punkt innerhalb der Brennweite, so bleiben die von ihm ausgehenden Strahlen divergirend.

6) Convergirend auffallende Strahlen werden durch eine Convexlinse noch mehr convergirend gemacht.

Planconvexe Linsen lassen sich betrachten als biconvexe Linsen, als hätten sie an der planen Seite eine Kugelkrümmung, zu welcher ein unendlich grosser Radius gehört. Nur in Bezug auf die Brennweite findet ein Unterschied in der Art statt, dass dieselbe unter übrigens gleichen Umständen für eine planconvexe Linse grösser ist, als für eine biconvexe. Dasselbe gilt auch für **concavconvexe** Linsen, wenn man den einen Radius negativ nimmt. Die biconvexen, planconvexen und concavconvexen Linsen kommen also darin überein, dass parallel auffallende Strahlen durch die Brechung **convergirend** werden, und sich auf der andern Seite in einem Punkte vereinigen. Man bezeichnet deshalb diese Linsen mit dem gemeinschaftlichen Namen **Sammellinsen**.

Die Sammellinsen, welche dazu dienen, die Sonnenstrahlen zur Erregung einer grossen Hitze auf einen möglichst kleinen Raum

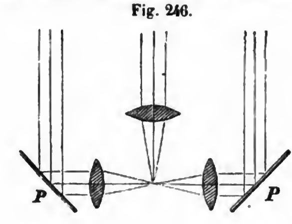
hinzulenken, nennt man Brenngläser. Die Wirkung derselben ist um so grösser, je grösser die Linse, also die Menge der vereinigten Strahlen, und je kleiner der Vereinigungsraum ist. Tschirnhausen war der erste, welcher durch Anwendung grosser Linsen (von 2 — 3 Fuss Durchmesser und 6 — 12 Fuss Brennweite) Wirkungen hervorbrachte, welche denen des heftigsten Feuers gleichkamen. Er schmolz mit denselben Metalle, verwandelte einige Metalle sogar in Dampf, verbrannte nasses Holz und machte Steine glühend. Stärker noch waren die Wirkungen, welche später (von Brisson) dadurch hervorgebracht wurden, dass man anstatt massiver Glaslinsen, deren Mangel an Gleichförmigkeit von nachtheiligem Einflusse ist, hohle, mit Terpentinöl gefüllte Linsen anwendete. Bemerkenswerth sind die von Buffon und Brewster vorgeschlagenen Polyzonallinsen (Zonenlinsen) welche aus mehreren Glasstücken so zusammengesetzt sind, dass ihr Durchschnitt folgendes Ansehn erhält. (Fig. 244 zeigt den Durchschnitt, Fig. 245 das Brennglas von vorn gesehen.)

Fig. 244.

Fig. 245.

Die mittlere Linse 1 ist von Flintglas und wird von der Zone *CD*, die aus vier zusammengekitteten Segmenten besteht, umschlossen. Die äussere Zone *AB* ist aus acht Segmenten zusammengesetzt. Um einen hohen Hitzegrad zu erlangen, vereinigt man mehrere solcher Linsen so, dass ihre Brennpunkte zusammenfallen. Ein solcher Apparat ist Fig. 246 abgebildet. Damit den seitwärts stehenden Linsen das Licht in der erforderlichen Richtung zukomme, sind Planspiegel in *PP* aufgestellt, welche das Licht nach den Linsen zu werfen. Brewster nennt einen solchen Apparat, welcher aus mehreren auf eine Kugeloberfläche vertheilten Linsen *abcdef* (Fig. 247) besteht, deren gemeinsamer Brenn-

Fig. 246.



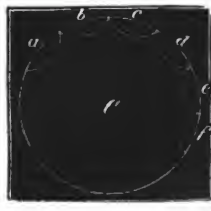


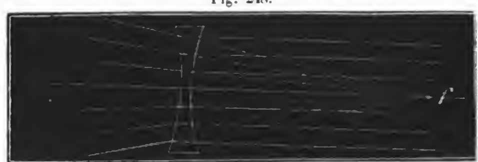
Fig. 247.

punkt im Punkte *C* liegt, eine **Brennkugel**. Sie ist einem grossen Brennglase vorzuziehen, weil kleinere Linsen sich leichter herstellen lassen, als eine zu einem grossen Brennglase erforderliche.

Eine nützliche Anwendung von Zonenlinsen hat Fresnel zur Verstärkung des Lichtes auf Leuchtthürmen vorgeschlagen.

Zerstreuungslinsen. Sind beide Seiten einer Linse hohl (wie z. B. Fig. 241, Linse *d*), so sind beide Halbmesser negativ zu nehmen. In Folge des negativen Werthes der Brennweite werden Strahlen, welche auf eine biconcave Linse parallel auffallen (Fig. 248), durch die Brechung so divergirend,

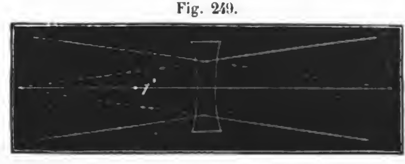
Fig. 248.



als kämen sie von einem Punkte vor der Linse. Dieser Punkt *f* ist wieder der Brennpunkt der Linse. Da aber in diesem Punkte keine Vereinigung der Strahlen in der That stattfindet, so nennt man diesen Punkt den **eingebildeten Brennpunkt** oder den **Zerstreuungspunkt**.

Fallen die Strahlen dergestalt auf die Linse, dass sie nach dem Zerstreuungspunkte convergiren, so gehen sie nach der Brechung parallel mit einander fort. Convergiren aber die Strahlen nach einem Punkte, welcher von der Linse entfernter liegt, als der Punkt *f* (Fig. 249), so divergiren die Strahlen nach der Brechung so, als wenn sie von einem Punkte vor dem Glase herrührten. Eine planconvexe Linse bringt im Allgemeinen dieselben Wirkungen hervor, wie eine biconcave.

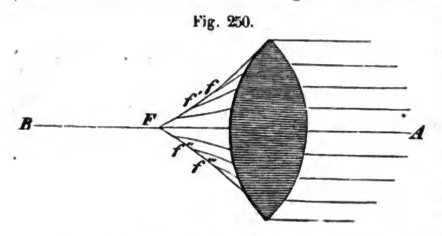
Fig. 249.



Die biconcaven, convex-concaven und planconcaven Linsen bezeichnet man wegen des negativen Werthes der Brennweite mit dem Namen Zerstreuungslinsen.

Sphärische Abweichung. Wenn Strahlen mit der Axe einen bedeutenden Winkel machen, so können sie durch die Linse nicht in einem Punkte vereinigt werden. Fallen z. B. solche Strahlen auf die Linse (Fig. 250) auf, und schneiden die der Axe AB am nächsten liegenden Strahlen dieselbe in F, so werden die anderen mehr abweichenden in f, f', f'', f''' schneiden. Diese Durchschnittspunkte bilden zu beiden Seiten der Axe eine krumme Linie $ff'Ff''f'''$, welche man Brennlinie nennt. Diese Abweichung von der Kugelgestalt oder sphärische Abweichung (Abirrung) entsteht dadurch, dass die in der Nähe der Mitte eines Linsenglases einfallenden Strahlen zwar nach der Brechung wieder in einem Punkte vereinigt werden, dass aber die mehr nach dem Rande zu auffallenden Strahlen nach der Brechung um so weiter hinter jenem Punkte vorbei gehen, sich also desto später vereinigen, je entfernter von der Mitte des Glases die Strahlen auf das Glas aufgefallen waren.

Fig. 250.



Erscheinungen, die auf der Brechung des Lichtes beruhen. Auf den Gesetzen der Brechung beruht die ganze Dioptrik, mithin auch alle Erscheinungen bei dioptrischen Instrumenten (Brillen, Fernröhren, Mikroskopen u. s. w.), welche später ausführlich abgehandelt werden. Eine Menge von Erscheinungen, die wir wahrnehmen, wenn Lichtstrahlen aus verschiedenen Substanzen von nicht homogener Dichte in unser Auge gelangen, haben ihren Grund in der Brechung des Lichtes. Einige dieser Erscheinungen sind folgende: Wenn man aus einer gegen die Oberfläche des Wassers geneigten Richtung nach dem Boden eines mit Wasser gefüllten Gefässes sieht, so scheint das Gefäss minder tief zu sein, als wenn es leer ist. Wenn man einen Stab in schiefer Lage ins Wasser taucht, so erscheint derselbe, wo er durch die Oberfläche des Wassers geht, gebrochen; der unter der Oberfläche des Wassers befindliche Theil des Stabes erscheint ver-

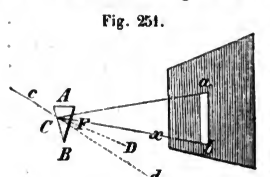
kürzt. Wenn man in ein mit Wasser gefülltes Gefäss, mittelst einer bis auf den Boden reichenden Röhre, concentrirte Schwefelsäure giesst, die sich nur sehr langsam mit dem Wasser mischt und daher Schichten bildet, welche von unten nach oben an Dichte allmählich abnehmen, so sieht man durch die Flüssigkeit nach der Länge des Gefässes einen Gegenstand doppelt. Dasselbe ist auch der Fall, wenn das brechende Mittel in schneller Bewegung ist, indem dann der Einfallswinkel sich schnell verändert und daher der gesehene Gegenstand schnell hinter einander in verschiedener Richtung gesehen wird. Daher das Flimmern der Bilder, welche man längs einem von der Sonne erhitzten Dache sieht.

Von der Farbenzerstreuung durch Brechung (*Dispersion*).

(Von der Zerlegung und Zusammensetzung des Lichtes).

Es wurde bis jetzt angenommen, dass ein Lichtstrahl aus lauter gleich brechbaren Theilen bestände. Bei genauerer Prüfung des in einem durchsichtigen Medium, z. B. Glas, Wasser u. s. w., gebrochenen Lichtstrahles findet man aber, dass das Sonnenlicht sich bei der Brechung in ein Bündel farbiger Strahlen theilt. Es lässt sich dies durch folgenden Versuch nachweisen. Wenn man in ein völlig finsteres Zimmer durch eine senkrechte Oeffnung am Fensterladen einem Sonnenstrahl *cd* (Fig. 251) fallen lässt, und diesem eine Seitenfläche eines Flintglasprismas von 60° brechendem Winkel in den Weg stellt, so erfährt der Lichtstrahl, wenn die brechende Kante senkrecht steht, eine Ablenkung. Der auf die Fläche *AB* in *C* einfallende Strahl geht nach *E* und tritt bei *F* nach der Richtung *Fx* aus dem Prisma heraus.

Fig. 251.



Stellt man in einiger Entfernung hinter dem Prisma einen weissen Schirm auf, so bemerkt man anstatt des weissen runden Sonnenbildes, das man ohne Prisma erhalten haben würde, ein prachtvolles Farbenbild (*Spectrum*) *ab*, dessen Länge von dem brechenden Winkel des Strahles und von der brechenden Substanz des Prismas abhängt, während dessen Breite dem Durchmesser des vom ungebrochenen Lichte erzeugten Sonnenlichtes gleich ist. Die Intensität des Lichtes ist an den verschiedenen Stellen des Spectrums eine verschiedene. Die am wenigsten abgelenkten Strahlen sind Roth, darauf folgen Orange, Gelb, Grün, Hellblau, Dunkel-

blau und Violett in allmählichen Uebergängen. Diese Farben theilen sich indessen nicht gleichmässig in die ganze Länge des Farbenbildes. Wenn man die ganze Länge in 360 Theile theilt, so findet man, dass ungefähr 56 Theile von Roth,

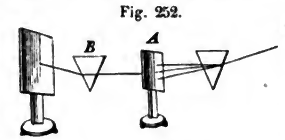
27	„	„	Orange,
27	„	„	Gelb,
46	„	„	Grün,
48	„	„	Hellblau,
47	„	„	Roth,
109	„	„	Violett
360			

eingenommen werden. Aber weder die Grenzen des Farbenbildes, noch die der einzelnen Farben lassen sich mit absoluter Genauigkeit angeben. Ist der brechende Winkel nach oben gekehrt, so findet die umgekehrte Ordnung der Farben statt.

Die verschiedenartig gefärbten Strahlen besitzen verschiedene Brechbarkeit. Betrachtet man das Farbenbild durch ein gleiches Prisma in umgekehrter Lage, so bemerkt man auf dem weissen Scheine nur einen hellen Fleck. Dadurch wird bewiesen, dass die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen wirklich im Sonnenlichte enthalten sind, und dass dieselben, wie durch verschieden starke Brechung getrennt, durch eine gleich verschieden starke Brechung im umgekehrten Sinne wieder in weisses Licht vereinigt werden können. Die Analyse des weissen Lichtes durch ein Prisma nennt man Farbenzerstreuung.

Die ungleiche Brechbarkeit ist Ursache der Farbenzerstreuung. Man überzeugt sich davon, wenn man das Farbenbild auf eine Tafel *A* (Fig. 252) auffallen lässt, in welcher sich kleine Oeffnungen befinden, so dass die rothen, gelben oder blauen Strahlen durch diese Oeffnungen gehen können. Setzt man nun die hindurch gehenden Lichtbüschel der Wirkung eines zweiten Prismas *B* aus, so wird der Strahl um so stärker abgelenkt, je näher er am blauen Ende des Farbenbildes liegt. Der gebrochene Strahl erscheint aber mit derselben Färbung, wie vor der zweiten Brechung. Daraus geht hervor, dass ein Lichtstrahl des Farbenspectrums, der die Eigenschaft hat, die Empfindung einer bestimmten Farbe zu erzeugen, diese Eigenschaft durch Brechung nicht einbüsst. Die Farben des

Fig. 252.



Spectrums sind also keiner weiteren Zerlegung fähig. Man nennt dieselben Regenbogenfarben, prismatische Farben, einfache Farben.

Theilt man eine kreisförmige Scheibe in sieben Sectoren und bemalt diese mit Farben, welche den Regenbogenfarben möglichst nahe kommen, so erscheint die Scheibe bei rascher Rotation weisslich. Wäre es möglich, Farben zu erfinden, welche den prismatischen gleichkämen, so würde man in diesem Falle bei schneller Rotation ein vollkommenes Weiss erhalten. Münchow erreichte dies ziemlich, indem er das Prisma, welches das Spectrum erzeugte, mit einem Uhrwerke in Verbindung setzte, um es in eine schnelle oscillirende Bewegung versetzen zu können. Durch diese Bewegung ging auch das von dem Schirme aufgefangene Spectrum hin und her, wodurch die Eindrücke der einzelnen Farben im Auge dergestalt verwischt wurden, dass man anstatt des farbigen Spectrums nur einen weissen Lichtstreif sah, der nur an den Enden etwas farbig erschien.

Complementärfarben oder Ergänzungsfarben. Wie angegeben wurde, entsteht durch die Wiedervereinigung der Regenbogenfarben wieder weisses Licht. Schliesst man eine oder mehrere Farben von der Vereinigung aus, so nimmt das Licht stets eine Färbung an. Unterdrückt man z. B. die rothen Strahlen, so entsteht durch die Vereinigung der übrigen ein grünes Licht. Schliesst man Roth und Orange aus, so geht der grüne Ton ins Blaue über. Die grüne Farbe würde im ersten Falle das Roth, die blaue Farbe im zweiten Falle die Mischung von Roth und Orange zu Weiss ergänzen. Jede zwei Farben, welche vereinigt weisses Licht geben, heissen Complementär- oder Ergänzungsfarben. Betrachtet man Roth, Gelb und Blau als Grundfarben, so ist die Complementärfarbe des Roth die Mischung aus Blau und Gelb (Grün), die des Gelb die Mischung aus Blau und Roth (Violett), die des Blau die Mischung aus Roth und Gelb (Orange). Trägt man die Farben des Spectrums in ihrer Reihenfolge als Sectoren auf eine Kreisscheibe, so dass auf Roth, Grün und Violett 60, 75°, auf Orange und Dunkelblau 34, 16°, auf Gelb und Blau ungefähr 54, 75° fallen, so sind zwei diametral gegenüberstehende Farben Complementärfarben. Wie erwähnt, vermischen sich die Farben bei rascher Rotation der Scheibe zu Weiss; bedeckt man dagegen einzelne Farben mit schwarzen Sectoren von Pappe, so erhält man bei der Rotation aus der Mischung der übrigen die entsprechenden Complementärfarben.

Um das Ergänzen der einen Farbe zu Weiss durch die andere zu zeigen,

schlägt Maumené eine Nickeloxydullösung (Grün) und eine Kobaltoxydullösung (Roth) von möglichst gleicher Concentration vor. Sobald man die rothe Kobaltlösung mit der grünen Nickellösung mischt, erhält man eine farblose Flüssigkeit.

Natürliche Farben. Das Prisma, dessen man sich bedient, um das Sonnenlicht zu zerlegen, lässt sich auch benutzen, um die natürlichen Farben der Körper zu untersuchen. Farben zeigen bekanntlich die Körper nur dann, wenn sie dem Lichte ausgesetzt sind; die Beschaffenheit dieser Farben ist abhängig von der Beschaffenheit des Lichtes. Wenn weisse Körper den homogenen rothen Strahlen des Farbenbildes ausgesetzt werden, so erscheinen sie roth, in den blauen blau, in den gelben gelb. Rothe Körper haben im gelben, noch mehr aber im blauen Felde ein aschgraues Aussehen; ebenso verhalten sich blaue Körper in den rothen Strahlen. Daraus geht hervor, dass die Farbe der Körper denselben nicht eigenthümlich ist und an ihnen haftet, sondern dass dieselbe durch eine besondere Beziehung des Lichtes zu denselben bedingt wird. Ein Theil der im weissen Lichte enthaltenen Farbestrahlen erlischt in der Masse der farbigen Körper und die Mischung der übrigbleibenden ertheilt dem Körper seine eigenthümliche Färbung.

Das farbige Licht, welches von einem Körper ausgeht, ist entweder einfach oder zusammengesetzt. Es ist zusammengesetzt, wenn es durch das Prisma in verschieden gefärbte Bestandtheile zerlegt wird. Das Licht einer Flamme von sehr verdünntem Alkohol ist gleichartig gelb, und in allen Farbenbildern, welche durch unvollkommen brennende Körper erzeugt werden, hat das gelbe Licht die Oberhand. Das Licht des Schwefels ist vollkommen gelb, wenn es in lebhaftem Verbrennen begriffen ist; bei weniger lebhaftem Verbrennen erscheinen im Farbenbilde grüne und blaue Linien. Das Licht des Sirius hat drei breite Streifen, einen in Grün und zwei in Blau; Pollux giebt viele schwache Linien. Das Licht des Mars und der Venus hat viele Aehnlichkeit mit dem Sonnenlichte. Das Kerzenlicht hat einen sehr hellen Streifen zwischen Roth und Gelb, und einen weniger scharfen in Grün. Die meisten Salzarten, mögen sie flüchtig sein oder nicht, ertheilen den Flammen besondere Färbungen; so Kupfersalze und Borsäure grün oder blaugrün, Natronsalze gelb, Lithion- und Strontiansalze roth, Kalksalze ziegelroth u. s. w. In den meisten Fällen ist aber das farbige Licht zusammengesetzt. Man erfährt dies, wenn man eine Reihe farbiger Papierstreifen auf ein schwarzes Papier klebt und diese farbigen Streifen aus einer Entfernung

von einigen Fussen durch ein Prisma betrachtet. In Folge der ungleichbaren Brechbarkeit der verschiedenen farbigen Strahlen scheinen die Streifen von ihrer Stelle gerückt, alle Farben werden aber auch zugleich in ihre einfachen Farben zerlegt. Weisses Papier giebt ein vollkommenes Spectrum. Ein Körper erscheint daher unseren Augen weiss, wenn Lichtstrahlen von ihm ausgehen, welche eben so wie die des Sonnenlichtes zusammengesetzt sind; schwarz erscheint er dagegen, wenn er kein Licht reflectirt.

Es sind vielfache Versuche in der Absicht angestellt worden, nachzuweisen, dass die grosse Mannigfaltigkeit der Farben in der Natur durch Mischung prismatischer Farben hervorgebracht worden ist. Nach Mayer sind alle Farben Mischungen von Roth, Gelb und Blau: zur Darstellung der Mischfarben construirte er das Farbendreieck.

Das Farbendreieck ist ein gleichseitiges Dreieck, das durch Parallellinien mit den Seiten, deren jede in eine Anzahl, z. B. 100, gleicher Theile getheilt ist, in eine Menge kleiner gleichseitiger Dreiecke, also in dem vorliegenden Falle in 4950 solcher Dreiecke zerlegt wird. Mayer legt das ganze Dreieck, ausgenommen die an einer Seite liegende Reihe, mit einem verdünnten Gummiguttton an, und wiederholt dies dann, indem er die zwei unteren Reihen frei lässt u. s. f., in der Weise, dass nur das letzte Dreieckchen in der Ecke die volle gelbe Färbung erhält. Dasselbe wird nun bezüglich der beiden andern Seiten des Dreiecks mit Carmin und mit Berlinerblau ausgeführt. Die dem Umfange des Dreiecks zunächst liegenden Felder enthalten zwischen Blau und Gelb 98 Nüancen von Grün, zwischen Roth und Blau eine gleiche Anzahl von Violett und zwischen Roth und Gelb die verschiedenen Arten von Orange. Diejenigen Felder, welche in der Mitte des Dreiecks liegen, zeigen noch zusammengesetztere Mischfarben. Calau hat eine Farbenpyramide, Runge eine Farbenkugel construirt. Kann man auch mit Hülfe dieser Constructionen die 30,000 Farben darstellen, welche die römischen Künstler in der Mosaik unterscheiden, so kann man durch dieselben doch nie die Reinheit und Mannichfaltigkeit der in der Natur vorkommenden Farben erreichen. Die Anzahl der Farbentöne, welche aus den prismatischen Farben entstehen können, ist unbegrenzt; die Erklärung der Entstehungsweise der natürlichen Farben besteht demnach vielmehr darin, nachzuweisen, auf welche Art einzelne Strahlen des weissen Lichtes in den farbigen Körpern ausgelöscht werden. Am einfachsten drückt man sich auf folgende Weise aus: Nur gewisse Farbenstrahlen des weissen Lichtes werden von den farbigen Körpern zurückgeworfen, während die übrigen, welche eine complementäre Farbe bilden, in die Masse des Körpers eindringen und, wenn derselbe undurchsichtig ist, vollständig verschluckt oder absorbirt werden. Es ist hierbei als Factum zu betrachten, dass die Farbe eines Körpers erst bei einer gewissen Dicke erscheint, denn es ist bekannt, dass alle Körper bei abnehmender Dicke einen hellern Ton annehmen. Der Strich von noch so stark gefärbten Mineralien ist stets heller, als die Farbe des Minerals; dunkelgefärbte Gläser oder Flüssigkeiten sind in dünnen Schichten farblos; anscheinend farblose Kör-

per, wie Luft und Wasser, nehmen in dicken Schichten, erstere eine blaue, letzteres eine grüne Färbung an.

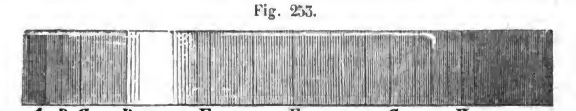
Nach Goethe (s. dessen Farbenlehre) entsteht Farbe da, wo Dunkles (das Dunkel als etwas positiv wirkendes angesehen) durch Helles, oder Helles durch Dunkles hindurchscheint. Das Dunkle, durch ein helles Medium angesehen, erscheint blau, und dieses Blau geht beim Trüberwerden des Zwischenmediums allmählich ins Violette über. Das Helle durch ein trübes Mittel angesehen, erscheint roth und geht durch das Orange ins Gelb über, wenn die Trübe des Zwischenmittels abnimmt. Das Grün tritt alsdann als Mischfarbe auf. Die angeführte Entstehungsweise des Gelb und Roth gründete Goethe vorzugsweise auf die Bemerkung, dass das Licht hellleuchtender Flammen, wie das des brennenden Phosphors im Sauerstoffgase, so wie das Licht der Sonne und der Gestirne bei heiterem Himmel weiss erscheinen, während dasselbe durch Milchglas, Rauch u. s. w. gesehen, eine rothe Färbung zeige. Hieraus erklärt er die Erscheinung der Morgen- und Abendröthe, den gelblichen und röthlichen Glanz der Sonne in der Nähe des Horizontes, wenn die unteren Luftschichten mit Dünsten angefüllt sind, und einige andere Erscheinungen. Zur Begründung der Entstehungsweise des Blau wird namentlich die Farbe des heiteren Himmels angeführt, als Folge des Durchscheinens des dunklen Himmelsraumes durch die vom Tageslicht erhellten Dünste, und die tiefere Sättigung der Himmelsbläue auf hohen Bergen. Die Entstehung der prismatischen Farben wird von Goethe wie folgt angegeben: Wenn Gegenstände durch ein mehr oder minder dichtes Mittel angesehen werden, so erscheinen sie nicht an derselben Stelle, an welcher sie sich nach den Regeln der Perspective befinden sollten. Ist die Brechung mit Farbenzerstreuung verbunden, so trennt sich ein Nebenbild von dem Hauptbilde, und beide werden in ungleichem Masse verrückt. Ist das Gesehene ein begrenztes Object, so schieben sich die Ränder des Nebenbildes und Hauptbildes übereinander; ist das brechende Mittel ein Prisma, so sind beide Bilder nahe von derselben Grösse, und es erscheint da, wo der Rand des Nebenbildes über den Rand des Hauptbildes hinausragt, und also Dunkel durch Hell gesehen wird, das Blau; auf der gegenüber stehenden Seite erscheint der Rand des Hauptbildes, verdeckt durch die vorgeschobene Grenze des Nebenbildes, gelb. Bezüglich der Goethe'schen Nomenclatur ist zu bemerken, dass epoptische Farben diejenigen genannt werden, welche an der Oberfläche der Körper unter gewissen Verhältnissen sichtbar werden (dazu werden vorzüglich die Farben der Newton'schen Farbenringe gerechnet); katoptische Farben sind diejenigen, welche unter besonderen Verhältnissen durch Reflexion erzeugt werden (z. B. die Farben am Perlmutter); paroptische Farben diejenigen, die man um sehr enge Oeffnungen im dunklen Zimmer sieht; physiologische Farben diejenigen, welche von besonderen Zuständen des Auges abhängen.

Ueber die physiologischen oder subjectiven Farben sei folgendes bemerkt: Nicht alle Menschen sehen das prismatische Farbenbild von gleicher Länge, dies gilt besonders in Beziehung auf den violetten Theil des Spectrums, der für manche Augen nur theilweise sichtbar ist. Die Augen einiger Personen können die

Farben nur sehr beschränkt unterscheiden, vorzüglich ist eine Verwechselung von Violett und Roth mit Blau und Grün nicht selten, während gelb stets richtig gesehen wird. Unter subjectiven Farben begreift man die Farbeneindrücke auf das Auge, die nicht durch die Gegenwart der entsprechenden Farben selbst, sondern durch vorhergegangene oder gleichzeitige Eindrücke bedingt sind. Erscheinungen dieser Art sind die complementären Nachbilder und die farbigen Schatten. Betrachtet man ein Stück gefärbtes Papier auf weissem Grunde einige Zeit lang mit unverwandtem Auge, und beseitigt darauf das gefärbte Papier, so erscheint ein gleich grosses Bild in lebhafter complementärer Färbung. Bei farbiger Beleuchtung sieht man die Schatten complementär gefärbt, wie es z. B. bei dem Schatten der auf- oder untergehenden Sonne der Fall ist, wo derselbe blau gefärbt erscheint.

Frauenhofer'sche Linien. Das reinste Farbenbild erhält man, wenn man ein Prisma von vollkommen homogener Masse vor dem Objectivglas eines guten Fernrohrs anbringt, nachdem man das Ocularglas des Rohres so eingestellt hat, dass man die Spalte, durch welche das Licht in das dunkle Zimmer eindringt, scharf erblickt. Indem Frauenhofer auf diese Weise das Farbenbild beobachtete, fand er alle Theile desselben mit schwarzen Linien von grösserer oder geringerer Breite durchschnitten, die mit der brechenden Kante des Prismas parallel liefen. Diese dunklen Zwischenräume (nach Frauenhofer 574 Linien, nach Brewster mehr als 200) zeigen, dass die Farbenstrahlen von der Brechbarkeit, wie sie diesen Stellen zukommt, gänzlich fehlen, weil sie unverändert auftreten, so lange man reflectirtes oder directes Sonnenlicht anwendet, während bei Anwendung anderer Lichtquellen diese Streifen entweder fehlen oder durch andere dunkle oder helle Linien ersetzt sind. Das Farbenbild eines Flintglasprismas bietet den Anblick, den Fig. 253 zeigt. Um sich in dem Farben-

Fig. 253.



bilde des Sonnenlichtes mit Leichtigkeit zurecht finden zu können, hat Frauenhofer die an den merkwürdigsten Stellen befindlichen Linien von Roth gegen Violett hin mit *A B C* u. s. w. bis *H* bezeichnet; so wählte Frauenhofer die Linien *B* und *C* im Roth,

D im Orange, *E* an der Grenze von Gelb und Grün, *F* im Grün nahe an der Grenze des Blau, *G* im Dunkelblau und *H* im Violett. Frauenhofer bemerkte, dass auf die Ordnung dieser Streifen weder der brechende Winkel noch die brechende Substanz von Einflusse ist. Diese Linien oder Streifen, welche man die Frauenhofer'schen Linien nennt, lassen sich auch ohne Prisma bemerken, wenn man ein Flintglasprisma von 70—80° brechendem Winkel oder ein mit Schwefelkohlenstoff gefülltes Hohlprisma anwendet. Die Erscheinung dieser Linien zeigt sich nicht allein im Sonnenlichte, sondern auch in dem Lichte aus andern Quellen, so wie z. B. in dem Lichte der Venus; im Lichte des Sirius bemerkt man Streifen, die von denen des Sonnenspectrum ganz verschieden sind. Das elektrische Licht giebt anstatt der hellen Streifen schwarze, eben so verhält sich das Lampenlicht.

Jene dunklen Linien im Sonnenspectrum geben uns durch ihre feste Lage ein Mittel an die Hand, die Brechungsexponenten für die verschiedenen Strahlen des Spectrums genauer zu bestimmen. Nebenstehende Tabelle enthält die Brechungsexponenten der jenen Stellen entsprechenden Strahlen von Flintglas.

Die Farbenzerstreuung ist nicht bei allen Körpern dieselbe, ungeachtet die Farben des Spectrums bei allen in gleicher Weise auf einander folgen. Bei den Gläsern bemerkt man, namentlich bei dem Flintglas und dem Crownglas, grosse Unterschiede. Ein Flintglasprisma giebt bei gleicher Entfernung und bei gleichem brechenden Winkel ein längeres Spectrum als Crownglas. In dem ersteren Spectrum ist weit mehr Violett, während in dem letzteren das Roth vorherrschend ist. Das Mittel eines Prismas wirkt um so farbenzerstreuender, je grösser der Unterschied zwischen den Brechungsexponenten der rothen und der violetten Strahlen ist. Dieser Unterschied wird auch die Zerstreuung genannt, und zwar die totale, weil Violett und Roth die äussersten Strahlen bilden, während man den Unterschied zwischen den Brechungsexponenten zweier mittleren Streifen oder Strahlen die partielle Zerstreuung nennt.

Vom Achromatismus. Ein Prisma wird achromatisch genannt, wenn dasselbe die Eigenschaft hat, die Lichtstrahlen abzulenken, ohne dieselben zugleich in die prismatischen Farben zu zerlegen. Eine achromatische Linse ist eine solche, bei welcher die Brennpunkte der prismatischen Farbenstrahlen zusammenfallen und die Gegenstände frei von farbigen Rändern zeigen. Eine concave Glaslinse wirkt ähnlich einem ringförmig zusammengelegten Glasprisma, daher erleiden zusammengesetzte Lichtstrahlen in Folge der verschiedenen Brechbarkeit in einer Linse eine Zerlegung.

Brechungsexponenten der Strahlen von Flintglas.

Brechende Substanzen.	B.	C.	D.	E.	F.	G.	H.
Flintglas Nro. 13	1,627749	1,629681	1,635036	1,642024	1,648260	1,660285	1,671062
Crownglas Nro. 409	1,525832	1,526849	1,529587	1,533005	1,536052	1,541637	1,546566
Crownglas Nro. 13	1,524312	1,525299	1,527982	1,531372	1,534337	1,539908	1,544684
Crownglas Lit. M.	1,554774	1,555933	1,559075	1,563150	1,566741	1,573535	1,579470
Flintglas Nro. 3	1,602042	1,603800	1,608494	1,614532	1,620042	1,630772	1,640373
Flintglas Nro. 23	1,626596	1,628469	1,633667	1,604095	1,646756	1,658848	1,669686
Wasser	1,330935	1,331742	1,333557	1,335851	1,337818	1,341293	1,344177
Kali	1,399629	1,400515	1,402805	1,405632	1,408082	1,412579	1,416368
Terpentinöl	1,470496	1,471530	1,474434	1,478553	1,481736	1,488198	1,493874.

Den durch die Brechung zerlegten farbigen Strahlen entsprechen mithin verschiedene Vereinigungspunkte, wodurch der Reinheit des Bildes Eintrag geschieht Diese Undeutlichkeit des Bildes nennt man die chromatische Abweichung der Linse. Ist z. B. *C* (Fig. 254) eine convexe Linse, auf welche der mit der Axe parallele weisse Lichtstrahl *AC* fällt, so vereinigen sich die am wenigsten brechbaren Lichtstrahlen, nämlich die rothen Strahlen, nach ihrem Austritt aus der Linse in einem

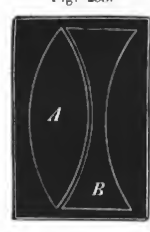
Fig. 254.

Brennpunkte *R*, die am meisten brechbaren Lichtstrahlen (die violetten) vereinigen sich in dem Punkte *V*: die Vereinigungspunkte aller übrigen Strahlen liegen zwischen *R* und *V*. Wenn man den aus der Linse austretenden Strahlenkegel mit dem Schirme *GH* auffängt, welcher also der Linse näher steht als *V*, so bemerkt man auf diesem Schirme einen leuchtenden Kreis mit rothem und gelbem Rande. Dieser Kreis erscheint dagegen mit einem blauen oder violetten Rande, wenn der Schirm in *IK*, also weiter entfernt als der Punkt *R* steht. Bringt man in den Raum zwischen *V* und *R* einen kleinen undurchsichtigen Körper, so gehen einige der farbigen Strahlen neben dem Körper vorbei, andere werden aufgehalten und dadurch erscheint die ganze Fläche des Kreises auf dem Schirme *IK* farbig. Dasselbe geschieht, wenn man in den Raum zwischen *V* und *R* einen undurchsichtigen Schirm mit einer kleinen Oeffnung setzt.

Die Wirkung der Linsen auf verschiedenfarbige Strahlen ist der Art, dass eine convexe Linse die violetten Strahlen stärker convergiren, eine concave aber sie stärker divergiren macht, als die rothen Strahlen. Nur durch Verbindung von Sammel- und Zerstreuungslinsen aus verschieden brechenden Mitteln lässt sich bewirken, dass die Convergenz der Strahlen, welche erstere verursachen, durch letztere kleiner wird, dass mithin die Farbenzer-

streuung sich vermindert. Bei Linsen aus Bleiglas (Flintglas) ist das Brechungsvermögen am grössten, leider aber auch die Farbenzerstreuung am bedeutendsten, so dass die damit hervorgebrachten Bilder stets einen farbigen Rand besitzen, was jede genaue Beobachtung hindert. Bei bleifreien Gläsern (Crownglas) ist das Brechungsvermögen, aber auch die Farbenzerstreuung weit geringer. Combinirt man daher eine convexe Linse von Flintglas *A* mit einer concaven Linse von Crownglas *B* (Fig. 255), so heben sich beide in ihrer Wirkung mehr oder weniger auf, und es lassen sich leicht Verhältnisse ausfindig machen, bei welchen die Farbenzerstreuung des Flintglases vollständig compensirt, das Brechungsvermögen nur um ein Gewisses vermindert wird. Eine solche Combination zweier Linsen, welche unter allen Umständen ein farbloses Bild giebt, heisst eine achromatische Linse. Eine Combination von Linsen, bei welchen ausser der achromatischen auch noch die sphärische Abweichung wegfällt, nennt man eine aplanatische Linse.

Fig. 255.



Bei einem Prisma findet etwas Aehnliches statt; die Bestandtheile des Lichtes werden durch dasselbe so gebrochen, dass sie nach dem Austritte aus demselben divergiren und das Spectrum erzeugen. Soll nun ein Prisma nicht mehr farbenzerstreuend wirken, so lassen sich aus zwei verschiedenen Substanzen construirte Prismen so combiniren, dass [allerdings eine Ablenkung erfolgt, aber die violetten und rothen Strahlen nicht mehr divergiren, sondern unter einander parallel austreten. Stellt man zwei Prismen *A* (aus Crownglas) und *B* (aus Flintglas) (Fig. 256) so zusammen, dass die brechenden Kanten nach entgegengesetzten Seiten gerichtet sind, so werden die Wirkungen beider mehr oder weniger vollständig aufgehoben.

Fig. 256.

Ist der brechende Winkel des einen Prismas bekannt, so lässt sich leicht berechnen, wie gross derjenige des anderen sein muss, wenn dieses mit jenem gleiche Farbenzerstreuung zeigen soll. Die Zerstreuung des Flintglases ist 2,089 mal grösser als die des Crownglases; es muss daher der brechende Winkel eines Flintglasprismas 2,089 mal kleiner sein, als der des Prismas aus Crownglas, wenn die Combination beider die violetten und rothen Strahlen gleich

stark ablenken soll. Ist der brechende Winkel des Crownglases = 35°, so ist der des Flintglasprismas $\frac{35}{2,089} = 16,7°$.

Absorption der Lichtstrahlen. Wenn man das durch ein Prisma hervorgebrachte, auf einer weissen Fläche abgebildete Spectrum durch gefärbte Flüssigkeiten oder farbige Gläser betrachtet, so erscheint dasselbe verändert, weil die verschiedenen Farben verschieden von dem gefärbten Mittel absorbirt oder verschluckt werden. Man sieht alsdann nur den nichtabsorbirten Rest des Farbenbildes. In den meisten Fällen reflectirt ein Körper andere Strahlen, als er in seine Masse aufnimmt, und häufig sind diese Farben Complementärfarben. In der That zeigen die gefärbten durchsichtigen, so wie die undurchsichtigen bei hinreichend dünnen Schichten, im durchgehenden Lichte jedesmal die complementäre Farbe zu derjenigen, welche man beim reflectirten Lichte beobachtet. So lässt die Luft, wie man beim Untergange der Sonne beobachtet, vorzugsweise die rothgelben Strahlen durch, reflectirt dagegen bekanntlich die blauen; das Wasser erscheint im reflectirten Lichte grün, nach den Berichten der Taucher im auffallenden Lichte roth; das Gold reflectirt das gelbe Licht und lässt in dünnen Schichten das blaue durchgehen u. s. w. Viele durchsichtige gefärbte Mittel zeigen im reflectirten wie im durchgehenden Lichte gleiche Farbe, was davon herrühren kann, dass sie in beiden Fällen ein Gemenge von reflectirtem und gebrochenem Lichte ins Auge senden. Einige durchsichtige gefärbte Körper haben die Eigenschaft, bei zunehmender Dicke nicht nur wie andere Körper dunkler zu werden, sondern auch eine andere Farbe anzunehmen. Solche dichromatische (zweifarbige) Mittel sind z. B. das mit Kobaltoxydul gefärbte Glas, das in dünnen Schichten rein blau, in dicken Schichten tief roth ist; die gelben Gläser, deren Farbe bei zunehmender Dicke durch Braun in Roth übergeht; ferner Lösungen von chlorwasserstoffsaurem Chromoxyd und Saftgrün (der eingedickte Saft der Beeren von *Rhamnus catharticus*), welche in dünnen Schichten grün sind, bei zunehmender Dicke aber durch eine bläuliche Färbung in Blutroth übergehen. Um diese Erscheinungen, z. B. das Verhalten der Lösung des chlorwasserstoffsauren Chromoxydes zu erklären, ist es ausreichend, eine sehr starke Absorption für die orangen, gelben, blauen und violetten Strahlen, eine minder starke für die grünen und eine ausserordentlich geringe Absorption für die äussersten rothen Strahlen anzunehmen, so dass, wenn eine Curve construirt würde, deren Ordinaten den Grad der Durchsichtigkeit für die verschiedenen Farbestrahlen des

Spectrums darstellen, diese zwei Maxima, eines für die grünen und ein zweites höheres für die äussersten rothen Strahlen erhalten würde.

Der Regenbogen ist eine bekannte Lufterscheinung, welche man wahrnimmt, wenn man eine regnende Wolke vor sich und die Sonne hinter sich hat. Weit seltener werden Regenbogen durch das Licht des Mondes hervorgebracht, und die so entstehenden Mondregenbogen sind stets matter, als die durch die Sonne erzeugten. Die Uebereinstimmung der Farben des Regenbogens mit denen des Sonnenspectrums lässt vermuthen, dass der Regenbogen seinen Ursprung der Zerlegung des weissen Sonnenlichtes verdanke. denn der Regenbogen zeigt in der That die gewöhnlichen prismatischen Farben, Violett nach innen, Roth nach aussen; ist der Bogen sehr intensiv gefärbt, so tritt noch ein zweiter, nach aussen liegender hinzu, dessen Farben in umgekehrter Ordnung liegen. Den inneren Bogen nennt man wegen der Lebhaftigkeit seiner Farben den Hauptregenbogen, den äusseren den Nebenregenbogen. Der Raum zwischen beiden Bogen an der Wolke ist bedeutend dunkler, als der vom Hauptregenbogen umschlossene und der ausserhalb des Nebenregenbogens befindliche. Wenn die regnende Wolke nur eine geringe Ausdehnung hat, so bemerkt man bloss Fragmente des einen oder des andern Bogens. Die Entstehung des Regenbogens lässt sich durch Lichtstrahlen erklären, die in dem Regentropfen zwei Brechungen und eine Zurückwerfung erlitten haben. Diejenigen Strahlen, welche nach dem Austritt aus dem Tropfen parallel bleiben, bringen in dem Auge des Beobachters einen weit stärkeren Eindruck hervor, als die übrigen Strahlen; man nannte sie deshalb die wirksamen Strahlen; diese sind es, welche die Erscheinung des Regenbogens bilden. Der Nebenregenbogen rührt von Strahlen her, welche an der hinteren Fläche der Tropfen zwei Reflexionen erlitten haben. Der Regenbogen bildet gewissermassen die Basis eines Kegels, dessen Spitze das Auge des Beobachters bildet. und dessen Axe mit der Geraden zusammenfällt, die man durch die Sonne und das Auge gelegt denken kann. Der Regenbogen muss als der Theil eines Kreises oder als ganzer Kreis erscheinen, weil das, was oben über die Brechung und Reflexion der Lichtstrahlen in dem Wassertropfen gesagt worden ist, für alle Tropfen gilt, die in gleichem Winkelstande von der erwähnten Linie liegen. Unter den erwähnten Bedingungen erscheint der Regenbogen auch in dem Staubregen der Springbrunnen und Wasserfälle. Die Ausdehnung des Regenbogens ist abhängig von der Höhe der Sonne über dem Horizonte. Je

höher die Sonne liegt, desto tiefer liegt der Mittelpunkt des Bogens unter dem Horizonte, desto kleiner ist das sichtbare Bogenstück. Von isolirten Bergspitzen oder von den Masten der Schiffe beobachtet man oft Regenbogen, die einen ganzen Kreis bilden.

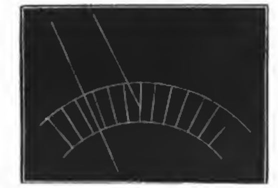
Der innere Rand des Hauptregenbogens ist stets mit einigen Farbensäumen, unter welchen besonders ein Wechsel von Roth und Grün bemerkbar ist, umgeben. Nach Ainy lassen sich diese Farben auf Interferenzerscheinungen zurückführen.

Vom Auge und den optischen Instrumenten.

Das Auge, dieser kunstvoll eingerichtete Apparat, ist nicht bei allen Thierklassen auf gleiche Weise eingerichtet. Man unterscheidet 1) die musivisch zusammengesetzten Augen der Insecten und Crustaceen, und 2) die mit Sammellinsen versehenen Augen der Wirbelthiere.

Zusammengesetzte Augen. Auf der convexen Nervenhaut, welche in Fig. 257 im Durchschnitte abgebildet ist, befinden sich eine grosse Anzahl durchsichtiger Kegel senkrecht aufgestellt. Es ist einleuchtend, dass nur solche Strahlen die Basis eines Kegels, mithin auch die Netzhaut treffen, welche in der Richtung der Axe der Kegel einfallen; in Folge dessen nur Lichtstrahlen von denjenigen Gegenständen, welche in dieser Richtung liegen, die Netzhaut afficiren. Die durchsichtige Haut, mit welcher das ganze Auge nach aussen hin bedeckt ist, die Hornhaut, ist gewöhnlich in Facetten getheilt; jede solche Facette entspricht einem der erwähnten Kegel. Die Anzahl dieser Facetten ist oft sehr bedeutend; ein einziges Auge enthält oft mehr als 12—20000 derselben. Die Grösse des Gesichtsfeldes ist abhängig von der Wölbung der Augen, oder mit andern Worten, von dem Winkel, welchen die äussersten Kegel mit einander bilden. Einige Insecten, wie die Spinnen, haben einfache linsenhaltige Augen, andere haben ausser den musivisch zusammengesetzten noch einfache linsenhaltige, deren Bau und Stellung jedoch vermuthen lassen, dass sie nur zum Sehen naheliegender Gegenstände bestimmt sind.

Fig. 257.



Einfache Augen mit Sammellinsen. Das menschliche Auge, das hier als Repräsentant der Augen mit Sammellinsen gel-

ten mag, besteht der Hauptsache nach, wie optische Instrumente (z. B. die Camera obscura), aus einem das Licht auffangenden und in deutlichen Bildern sammelnden Organe, dem Augapfel, und aus einem auf der hinteren Seite in diesen einmündenden Sehnerv, welcher die Bilder auffängt und nach dem Gehirn leitet.

Fig. 258.

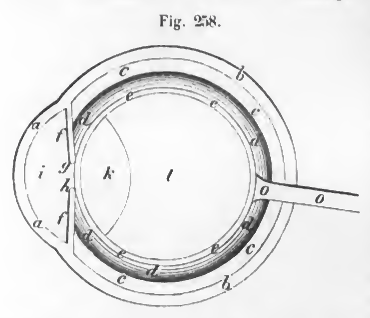


Fig. 258 stellt einen Durchschnitt des menschlichen Auges dar. Nach aussen ist der Augapfel von mehreren ihn theils schützenden, theils bewegenden Hülfsorganen umgeben (die Augenmuskeln, die Augenlider, Wimpern und Augenbrauen, die von den Thränen fortwährend befeuchtete Augenschleimhaut, die knöcherne Augenhöhle und das dieselbe auskleidende Fett). Der Augapfel besteht aus einer grossen kugelförmigen Sehnenhaut *b* (*Sclerotica*), welche nach innen mit einer schwarzen Gefässhaut *c* (*Choroidea*) überzogen ist; sie ist von einem schwarzen Farbstoff (dem *Pigmentum nigrum*) durchdrungen und dient zum Aufsaugen der Lichtstrahlen und zur Erwärmung des Auges. Concentrisch an der inneren Fläche der Choroidea liegt die Netz- oder Nervenhaut *d* (*Retina*), welche aus den Enden des Sehnerven *o* (*Nervus opticus*) gebildet ist. Das Innere des Augapfels ist mit einer glashellen Kugel *l* (*Corpus vitreum*) angefüllt; vor derselben befindet sich die Krystalllinse *k* (*Lens crystallina*), ein vollkommen durchsichtiger Körper, der die Gestalt einer Linse hat, deren vordere Fläche etwas flacher, deren hinterer etwas convexer ist. Die Glashaut *e* (*Membra vitrea*) bildet zum Theil die äussere Hülle des Glaskörpers. Nach vorn, wo das Licht hereinfallen soll, befindet sich in den genannten drei Häuten (*Sclerotica*, *Choroidea*, *Retina*) eine Oeffnung, welche von aussen her durch die wie ein Uhrglas gestaltete Hornhaut *a* (*Cornea*) geschlossen wird; auf diese Haut folgt Wasser *i* (*Humor aqueus*) und auf dasselbe eine verschieden gefärbte Haut, die Regenbogenhaut *f* (*Iris*), welche die Gestalt einer in der Mitte von einem kreisrunden Loche, der Pupille *gh*, durchbohrten Scheibe hat, und vor der uhrglasähnlichen Cornea wie das Zifferblatt liegt.

Das Sehen. Wenn die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen das Auge treffen, so wird der eine Theil derselben, welcher auf den andern Theil der Sclerotica (das Weisse im Auge) fällt, unregelmässig nach allen Seiten zerstreut, ein anderer Theil gelangt durch die durchsichtige Cornea zur Iris, während noch ein anderer Theil durch die Pupille auf die Linse fällt, welcher in dem im Augapfel enthaltenen durchsichtigen Medium gebrochen wird und sich auf der Netzhaut zu einem Bilde vereinigt. Das auf der Netzhaut entstehende Bild afficirt die auf dieser Haut ausgebreiteten Sehnerven und bringt die Empfindung hervor, welche wir Sehen nennen. Ein deuliches Bild des Gegenstandes ist nur dann wahrzunehmen, wenn die gebrochenen Strahlen sich auf der Netzhaut vereinigen; dies ist aber nur dann möglich, wenn die Gegenstände sich in einer gewissen Entfernung vom Auge befinden. Die Erfahrung lehrt aber, dass man Gegenstände in verschiedenen Entfernungen deutlich sieht; die Einrichtung des Auges muss also veränderlich sein, d. h. das Auge muss die Fähigkeit besitzen, sich den verschiedenen Entfernungen zu accomodiren. Diese Fähigkeit nennt man das Accomodationsvermögen. Ob dasselbe in einer Verlängerung oder Verkürzung der Hauptaxe, oder in einer Veränderung der Krümmung der Hornhaut, oder in einer Zusammendrückung und Ortsveränderung der Linse, oder (nach Pouillet) in einer Veränderung des Durchmessers der Pupille besteht, ist noch nicht mit Bestimmtheit ermittelt. Das Accomodationsvermögen des Auges hat jedoch seine Grenzen, wovon man sich überzeugen kann, wenn man einen Gegenstand, z. B. einen Stecknadelkopf, zu nahe vor das Auge bringt; in diesem Falle fällt das Bild nicht auf die Netzhaut, sondern die Strahlen vereinigen sich hinter derselben und es ist kein scharfer Unterschied des Bildes möglich. Ein gesundes Auge ist nicht im Stande, das Bild eines Gegenstandes, der ihm näher als 8 — 10 Zoll steht, auf die Netzhaut zu bringen. Alle Gegenstände, die über diese Grenze hinaus liegen, sieht man deutlich. Diese Entfernung von 8 — 10 Zoll nennt man die Sehweite oder die Weite des deutlichen Sehens. Bei Kurzsichtigen ist sie bedeutend kleiner, bei Weitsichtigen viel grösser. Der Grund der Kurzsichtigkeit und der Weitsichtigkeit ist in dem mangelhaften Accomodationsvermögen zu suchen. So kann das Auge z. B. durch die Gewohnheit, ihm die Schrift beim Lesen zu sehr zu nähern, sein Accomodationsvermögen für entfernte Gegenstände verlieren, und wird kurzsichtig. Umgekehrt ist es bei dem weitsichtigen Auge. Bei Kurzsichtigen fallen die Bilder vor, bei Weitsichtigen hinter die

Netzhaut. Um dem Kurzsichtigen entfernte Gegenstände deutlicher zu machen, wendet man concav geschliffene Gläser an, wodurch die ins Auge gelangenden Strahlen weniger convergirend gemacht, ihre Vereinigung auf die Netzhaut möglich wird. Convex geschliffene Gläser wendet man hingegen an, um Weitsichtigen das deutliche Sehen naher Gegenstände möglich zu machen, indem diese Gläser die Strahlen convergenter machen und das Bild auf die Netzhaut bringen. (Siehe unten Brillen.)

Die Weitsichtigkeit und Kurzsichtigkeit lässt sich noch durch folgendes Mittel vermindern. Wenn man eine feine, in ein Kartenblatt gemachte Oeffnung dicht vor das Auge bringt, so gelangen die von einem Punkte eines Gegenstandes ausgehenden Strahlen nur in einer einzigen Richtung in das Auge und treffen daher die Netzhaut ebenfalls nur in einem einzigen Punkte. Man sieht daher einen nahen Gegenstand, der mit blossem Auge kaum wahrzunehmen ist, deutlich und vergrössert, wobei allerdings die Deutlichkeit auf Kosten der Helligkeit hergestellt wird. — Betrachtet man z. B. eine Stricknadel durch zwei kleine Oeffnungen eines Kartenblattes, deren Entfernung von einander kleiner ist, als der Durchmesser der Pupille (3—7 Millimeter), so sieht man dieselbe einfach oder doppelt, je nachdem man sie in der Weite des deutlichen Sehens oder innerhalb derselben vor die Löcher hält. Dieser Versuch lehrt zugleich, dass das Auge Gegenstände in verschiedener Entfernung nicht gleichzeitig deutlich sehen kann. Auf diesen Versuch gründen sich ferner die Optometer (Brillenmesser), welche zur Bestimmung der Sehweite dienen.

Das Auge ist so eingerichtet, dass die Bilder von der sphärischen Abweichung frei sind, wozu besonders die geringe Weite der Pupille, die Form der Krystallinse, die Lage der als Blendung dienenden Iris und die Wölbung der Netzhaut beiträgt. Die chromatische Abweichung der Bilder im Auge ist nicht vollkommen beseitigt, was auch nicht erforderlich ist, da man ja nur die in der Axe oder die nahe an ihr liegenden Gegenstände wahrnimmt. Der Achromatismus des Auges ist jedenfalls in der ungleich zerstreuenden Kraft seiner verschiedenen durchsichtigen Medien begründet.

Wenn man die Sclerotica eines herausgenommenen Auges an der hinteren Seite öffnet und dort hindurchsieht, so erblickt man kleine Bilder der äusseren Gegenstände, gerade als ob man durch ein Perspectiv sehe.

Zum Sehen ist eine gewisse Intensität des Lichtes nothwendig. So empfindlich auch der Sehnerv für das Licht ist, so ist doch seine Empfindlichkeit für die Eindrücke nicht unbegrenzt.

Die scheinbare Grösse der Gegenstände ist abhängig von der Grösse der Bilder auf der Netzhaut. Nach Beobachtungen an Augen schneiden sich die geraden Linien, welche die Punkte des Bildes auf der Netzhaut mit den entsprechenden Punkten der Aussenwelt



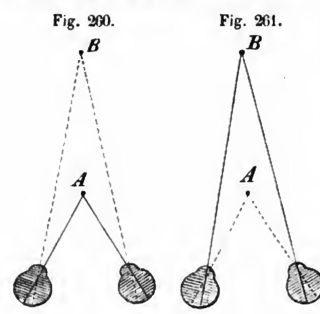
Fig. 259.

verbinden, in einem Punkte c (Fig. 259), welcher im Auge etwas hinter der Linse liegt. Volkmann nennt diesen Punkt den Kreuzungspunkt, jene geraden Linien Richtungslinien. AB sei der leuchtende Gegenstand, ab sein Bild auf der Netzhaut, so ist die Grösse des letzteren abhängig von dem Winkel AcB. Diesen Winkel, welcher ein Mass für die scheinbare Grösse des Gegenstandes abgiebt, nennt man den Sehwinkel. Die Grösse desselben steht mit der absoluten Grösse des Gegenstandes in directem, mit der Entfernung des letzteren vom Auge in umgekehrtem Verhältnisse. Dem zufolge können Gegenstände von verschiedener Grösse, wie AB und $A'B'$, scheinbar gleiche Grösse haben, wenn ihre absolute Grösse ihren Entfernungen vom Auge proportional ist. Hierauf beruht die Täuschung der Linienperspective.

Obgleich die Bilder auf der Netzhaut verkehrt sind, sehen wir dieselben doch aufrecht, weil die Empfindung der Nervenhaut nicht als solche zum Bewusstsein kommt, sondern unwillkührlich nach derjenigen bestimmten Richtung nach aussen hin projicirt wird, in welcher sich die Gegenstände befinden, und nach welcher hin wir dieselben auch durch andere sinnliche Wahrnehmungen finden.

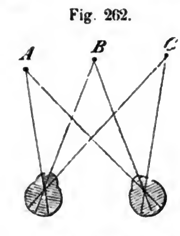
Sehen mit zwei Augen. Obgleich wir einen Gegenstand mit beiden Augen betrachten, so erscheint derselbe doch einfach, wenn sich sein Bild in beiden Augen auf entsprechenden Stellen der Netzhaut befindet. Ist dies nicht der Fall, so sehen wir ihn doppelt. Sind z. B. (Fig. 260) beide Augen nach dem Gegenstande A gerichtet, so machen die Augenaxen die in der Zeichnung angedeuteten Winkel mit einander, und das Bild A erscheint auf der Mitte der Netzhaut in jedem Auge. Dasselbe geschieht auch mit dem Bilde des entfernter liegenden Gegenstandes B, wenn man diesen

Fig. 260. Fig. 261.



Gegenstand fixirt, nur ist der Winkel der Augenaxen viel kleiner. Wenn beide Augen den Gegenstand *A* fixiren, so erscheint *B* doppelt, weil sein Bild in beiden Augen nicht auf entsprechenden Stellen der Netzhaut liegt. Aehnliches geschieht mit *A* (Fig. 261), wenn beide Augen den Gegenstand *B* fixiren.

Fig. 262.



Es können ferner mehrere Gegenstände zu gleicher Zeit und einfach wahrgenommen werden, wenn ihre Bilder in beiden Augen auf entsprechende Stellen der Netzhaut fallen. In Fig. 262 seien *A*, *B* und *C* drei verschiedene Gegenstände, die sich vor den beiden Augen befinden; die Bilder dieser drei Gegenstände folgen sich in beiden Augen in derselben Ordnung, so ist das Bild von dem Gegenstande *B* in jedem Auge in Mitte der Netzhaut, das von *C* in beiden Augen links, und endlich das von *A* in beiden rechts von *B*.

Sobald das Bild eines Gegenstandes in beiden Augen auf correspondirende Stellen der Netzhaut fällt, so verschmelzen beide Empfindungen in eine einzige und man sieht den Gegenstand nur einfach. Mit beiden Augen sieht man einen Gegenstand deutlicher, als mit einem. Erhalten die Bilder nicht in beiden Augen auf correspondirenden Stellen der Netzhaut ihren Platz, wie dies bei dem freiwilligen Schielen der Fall ist, so sehen wir den Gegenstand in der That doppelt. —

Seit der Entwickelung unseres Bewusstseins von der ersten Kindheit an haben wir uns unbemerkt die Fähigkeit erworben, auf die Ueberlieferungen des Sehorganes ein Urtheil über die Beschaffenheit des Gesehenen zu gründen, dass sich mit dem blossen Auffassen des wirklichen Thatsächlichen so vermengt, dass wir das eine von dem andern zu sichten in vielen Fällen nicht im Stande sind. Wenn wir ein ungewohntes Urtheil auf einen Fall anwenden, auf dem die Prämissen desselben nicht passen, so irren wir in Bezug auf die Beschaffenheit der Gegenstände und wir unterliegen einer optischen Täuschung. Daher kommt es, dass wir den aufgehenden Mond, die Sternbilder in der Nähe des Horizontes grösser sehen, als in der Höhe, dass ein langer Gang, eine lange Allee, in der Entfernung enger zu werden, die Decke sich zu senken, der Fussboden sich zu erheben scheint u. s. w. Auf der Unsicherheit der Schätzung, sobald das System von Punkten zwischen dem Auge und dem Gegenstande unterbrochen ist, beruht die Täuschung der Panoramen und Dioramen; in eine ähnliche Täuschung sucht man sich zu versetzen, wenn man Gemälde durch die hohle Hand betrachtet.

Die Irradiation. Jeder helle Gegenstand erscheint auf dunklem Grunde grösser als auf hellem, jeder dunkle Gegenstand dagegen auf hellem Grunde kleiner, als auf dunklem. So sieht man z. B. die äusseren Ränder der Mondsichel über den nur von der

Erde erleuchteten Theil der Mondscheibe hervorragen, und die Grösse der hellen Fixsterne scheint dem unbewaffneten Auge die der dunkleren Sterne bei weitem zu übertreffen. Helle schmale Streifen, z. B. durch Elektricität glühend gemachte Drähte, erscheinen viel breiter und dicker, als sie in der That sind. Ein vor eine Lichtflamme gehaltener dünner Stab erscheint an der Stelle, welche zwischen Auge und Flamme sich befindet, schmaler als im übrigen Verlauf. Diese Erscheinung nennt man die Irradiation und erklärt sie dadurch, dass ein kräftiger, an einer Stelle der Netzhaut hervorgerufener Lichteindruck auch die Affection der zunächst liegenden Nerventheilchen zur Folge habe, dass also die Wirkung eines kräftigen Lichtes sich nicht nur auf die unmittelbar getroffene Stelle der Netzhaut, sondern auch über die nächsten Umgebungen derselben verbreitet, etwa so, wie ein Druck auf ein gespanntes Tuch rings um die gedrückte Stelle eine Einbiegung erleidet. Plateau, welcher die Irradiation studirte, stellte bezüglich derselben folgende drei Gesetze auf:

1) Je stärker der Glanz des Objectes ist, desto auffallender ist die Vergrösserung durch die Irradiation;

2) Die Irradiation wird durch Näherung eines zweiten hellen Gegenstandes verändert;

3) Die Irradiation wird durch eine Concavlinse vergrössert, durch eine Convexlinse verkleinert, und zwar um so mehr, je kürzer die Brennweite ist.

Dauer des Lichteindruckes. Das Zustandekommen eines wahrnehmbaren Eindruckes auf das Auge bedarf einer um so kürzeren Zeit, je kräftiger er ist. Ist der Eindruck ein zu schneller, so sieht man nichts. Eine Flintenkugel sieht man z. B. in ihrem Laufe nicht; die Speichen eines schnell rotirenden Rades kann man nicht unterscheiden. Die Oberfläche eines Kreisels, der abwechselnd mit weissen und schwarzen Sectoren bemalt ist, erscheint beim schnellen Drehen gleichförmig grau. Ebenso hinterlässt ein Lichteindruck eine Nachempfindung, welche einige Zeit anhält. Der Weg eines schnell bewegten hellleuchtenden Körpers erscheint deshalb als leuchtende Linie; so eine im Kreise geschwungene glühende Kohle, eine aufsteigende Rakete.

Hierher gehören die Erscheinungen des Phenakistoskops, des Thaumatrops, des Kaleidophons, u. s. w.

Das Phenakistoskop oder die Wunderscheibe besteht aus einer Pappscheibe, welche schnell um eine horizontale Axe gedreht werden kann. Am Rande dieser Scheibe befinden sich eine Reihe viereckiger Löcher in gleichen Abständen; der unterhalb dieser Löcher befindliche Raum ist auf einer Seite der

Scheibe mit einem Gegenstande in verschiedenen Stellungen bemalt, so dass jedem Loche eine andere Stellung entspricht. Hält man nun diese Scheibe so vor einen Spiegel, dass die bemalte Fläche dem Spiegel zugekehrt ist und versetzt die Scheibe in schnelle Drehung, während man durch die Löcher in den Spiegel sieht, so erblickt man den gemalten Gegenstand in einer zusammenhängenden Bewegung.

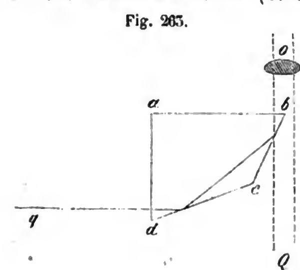
Das Thaumatrop (*trompe d'oeil*). Wenn man in eine Pappscheibe von einigen Zoll Durchmesser diametral gegenüberstehende Löcher macht, durch welche man Fäden zieht, so lässt sich diese Scheibe so drehen, dass man bald die eine, bald die andere Seite sieht. Zeichnet man z. B. auf die eine Seite einen Mann im blossen Kopfe, und auf eine entsprechende Stelle der andern Seite einen Hut, so wird es bei raschem Drehen scheinen, als ob der Hut auf dem Kopfe des Mannes befindlich sei.

Das Kaleidophon (von Wheatstone). Wenn ein cylindrischer Stab mit seinem einen Ende auf ein Brett befestigt ist und am andern Ende einen glänzenden Knopf trägt, so sieht man, wenn der Stab im Sonnenscheine oder bei einem andern, aus einem Strahle kommenden Lichte in Schwingungen versetzt wird, die Bahn, welche das Ende des Stabes beschreibt, als eine Lichtlinie. Da der Stab gewöhnlich eine Art Centralbewegung hat, so erscheint diese Linie im einfachsten Falle als eine Ellipse. Bei einer Coexistenz mehrerer Schwingungsarten entstehen artig verschlungene Figuren. Man kann auch am Ende des Stabes eine kleine Platte mit mehreren glänzenden Knöpfen anbringen, wo man dann die Linien mehrfach sieht.

Von den optischen Instrumenten. Die in den vorhergehenden Abschnitten erwähnten Eigenschaften der Linsen und Spiegel benutzt man zur Construction der optischen Instrumente, mit deren Hülfe man Gegenstände deutlicher sehen kann, als dies durch unmittelbare Betrachtung derselben mit dem unbewaffneten Auge möglich ist. Man wendet diese Instrumente ferner an, um Gegenstände naturgetreu iu eine besondere Lage zu bringen.

Die Camera lucida (lichte Kammer) wird benutzt, um Gegenstände so abzuspiegeln, dass die Bilder auf einer Papierfläche projicirt erscheinen und auf derselben nachgezeichnet werden können. Sie besteht aus einem an einen Stativ befestigten vierseitigen Prisma $abcd$ (Fig. 263), welches bei c einen Winkel von 135^0 hat, während dasselbe bei a rechtwinklig ist. Die Seite ad wird dem Object zugekehrt, so dass die zunächst von q kommenden Strahlen zuerst in cd

Fig. 263.

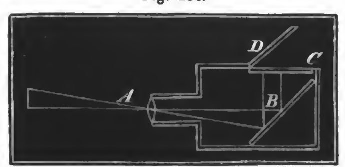


und sodann in *cb* reflectirt werden. Sie treten darauf rechtwinklig aus der Fläche *ab* in das Auge *O*, so dass das Bild des Gegenstandes *q* ungefähr in *Q* gesehen wird. Befindet sich unterhalb des Prismas ein weisses Papier, so ist eine Nachzeichnung des projicirten Gegenstandes möglich.

Die einfachste Camera lucida besteht, nach Sömmering, aus einem kleinen Stahlspiegelchen, das, unter einem Winkel von 45° gegen den Gegenstand geneigt, ganz nahe ans Auge gehalten wird, so dass er die Pupille nur zum Theil bedeckt.

Die Camera obscura (dunkle Kammer) ist ein von Porta 1558) erfundener optischer Apparat, welcher dazu dient, innerhalb eines finsteren Raumes Bilder ausserhalb dieses Raumes befindlicher entfernter oder nahe liegender Gegenstände naturgetreu zu erzeugen.* Der Haupttheil der Camera obscura ist das als Sammellinse wirkende Objectiv. Befindet sich ein leuchtender Gegenstand vor der Linse in einer Entfernung, die grösser ist als seine Brennweite, so sieht man in angemessener Entfernung hinter der Linse ein verkehrtes Bild des Gegenstandes in der Luft schweben. Hält man an die Stelle, wo dieses Bild erscheint, eine durchscheinende Tafel (eine matt geschliffene Glastafel oder geöltes Papier), so sieht man das Bild auf derselben, aber wegen des Lichtverlustes beim Durchgang durch die Substanz der Tafel sehr schwach. Soll das Bild möglichst scharf erscheinen, so muss man verhindern, dass seitliches Licht den Eindruck stört, und zu diesem Behufe die Tafel in einen inwendig geschwärzten Kasten bringen, in dessen einer, der Tafel gegenüber stehenden Wand die Linse angebracht ist. Da das Bild der Linse um so näher sich befindet, je weiter das Object entfernt ist, so ist die Linse *A* (Fig. 264) in einer verschiebbaren Röhre enthalten, deren Stellung nach der jedesmaligen Objectivweite regulirt wird. Soll die Camera obscura benutzt werden, um Bilder nachzuzeichnen, so muss das Bild auf eine horizontale Fläche geworfen werden. In diesem Falle wird ein der Linse gegenüberliegender Planspiegel *B* auf 45° gestellt, so dass das von ihm reflectirte Bild nach oben auf eine bei *C* ausgespannte matte Glastafel oder ein geöltes Papier fällt. Auf die matte Glastafel wird das Papier gelegt, auf welches die Copie gemacht werden soll. Der Seitenflügel *D* ist angebracht,

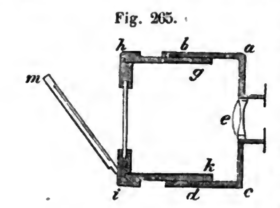
Fig. 264.



um das störende Sonnenlicht abzuhalten. In Bezug auf die Lage der Bilder ist zu bemerken, dass, wenn sie sich ohne Hülfe eines Spiegels bilden, die durch Reflexion gesehenen von denen durch Transmission und direct gesehenen sich dadurch unterscheiden, dass sie nicht nur verkehrt sind, sondern auch das Rechts mit dem Links gewechselt haben; dass ferner horizontale Planspiegel bei verticaler Stellung des Beobachters das Oben und Unten, verticale Planspiegel dagegen das Rechts und Links verkehren. Zur Richtigstellung des Bildes kann man den Spiegel auch durch ein rechtwinkliges, dreiseitiges Prisma ersetzen, wenn man das Licht in eine Kathetenfläche desselben eindringen, an der Hypothenusenfläche reflectiren und aus der andern Kathetenfläche austreten lässt. Sodann ist der Lichtverlust weit geringer, und das Bild und Object behalten dieselbe Lage gegen die Axe der Linse, welche sie ohne Prisma einnehmen würden.

Durch die bekannte Erfindung Daguerre's ist es gelungen, das Bild der Camera obscura zwar nicht mit seinen Farben, aber doch in Bezug auf Schatten und Licht zu fixiren. Dadurch hat die Camera obscura eine weit grössere Wichtigkeit erlangt, als sie früher besass. Nach der Angabe von Petzval wendet man eine Combination von zwei Crown-Flintglaslinsen an, die besonders von Voigtländer in Wien vorzüglich hergestellt werden. Das Wesentliche der Daguerreotypie wird weiter unten bei den chemischen Einwirkungen des Lichtes beschrieben werden; jetzt begnügen wir uns, die Einrichtung der zur Daguerreotypie angewendeten Camera obscura anzuführen. Der die Linse *e* (Fig. 265) enthaltende Einsatz ist vorn mit einer Blendung versehen, die nach Belieben geöffnet und verschlossen werden kann. Damit die vorgerichtete Platte, die zur Darstellung des Bildes dienen soll, in die gehörige Entfernung von der Linse gebracht werden kann, besteht der Kasten der Camera obscura aus zwei in einander verschiebbaren Theilen *abcd* und *ghik*; der hintere Theil ist so eingerichtet, dass der Rahmen, der zur Aufnahme des Brettes mit der Kupferplatte dient, in die Oeffnung *hi* passt. Vor dem Versuche setzt man in *hi* einen Rahmen mit einer mattgeschliffenen Glastafel ein und verschiebt darauf *ghik* so lange, bis das Bild auf der Glastafel die grösste Schärfe zeigt. In dem Rahmen befindet sich ein Spiegel *im*, um das Bild bequem

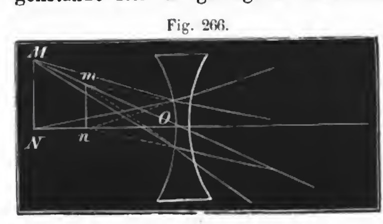
Fig. 265.



betrachten zu können. Nach beendigtem Vorversuche wird die Thüre des Rahmens, in dem sich die Metallplatte befindet, geöffnet. Die Dauer der Einwirkung lässt sich nur durch die Erfahrung bestimmen.

Brillen sind die bekannten Instrumente, welche aus einem Gestelle und zwei Gläsern bestehen, und angewendet werden, bei einer fehlerhaften Beschaffenheit der Augen, welche das deutliche Sehen hindert, dieses herzustellen. Man unterscheidet Brillen für kurzsichtige und Brillen für weitsichtige Augen. Bei kurzsichtigen Augen (vergl. S. 378) wendet man concav geschliffene Gläser an, da aus Zerstreuungslinsen die von den Gegenständen auf sie fallenden Strahlen dergestalt heraustreten, als ob diese Gegenstände sich in geringerer Entfernung von der Linse befänden. Ist z. B. O (Fig. 266) der Ort, wo sich das Auge befindet, MN ein entfernter Gegenstand, nO hingegen die Entfernung der normalen Sehweite, so kann man eine Zerstreuungslinse so wählen, dass sie, dicht vor das Auge gebracht, den Gegenstand in mn erscheinen lässt. Das Bild mn wird dann vor dem Auge unter dem optischen Winkel nOm wahrgenommen, demnach genau unter demselben, der dem wirklichen Orte des Gegenstandes entspricht. Die Brennweite der convexen Linse muss stets etwas grösser sein, als die für das Auge erreichbare Sehweite.

Fig. 266.

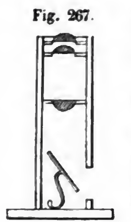


Brillen für weitsichtige Augen. Damit man einen Gegenstand deutlich sehe, ist ausser der Sehweite noch ein gewisser Betrag des optischen Winkels nothwendig. Gegenstände, für welche der optische Winkel fast verschwindet, hören auf sichtbar zu sein. Daraus folgt, dass man kleine Gegenstände dem Auge nahe bringen muss, damit der optische Winkel möglichst gross werde. Solche Augen, für welche bei Annäherung der Gegenstände die Schärfe des Sehens schon bei Entfernungen aufhört, die grösser sind, als es gewöhnlich der Fall ist, nennt man weitsichtige. Solchen Augen kommt man mit Sammellinsen zu Hülfe, welche die von den innerhalb der Brennweite stehenden Gegenständen herrührenden Strahlen so ins Auge leiten, als wären diese Gegenstände weiter vom Auge entfernt.

Wenn dem Auge die Krystalllinse fehlt, so fallen die Bilder auch der entferntesten Gegenstände hinter die Netzhaut, und das deutliche Sehen wird nur durch Anwendung einer stark convexen Brille, einer sogenannten Staarbrille, möglich. Sogenannte Conservations- oder Präservativbrillen, welche die Sehkraft gesunder Augen erhalten und die geschwächten Augen stärken sollen, giebt es in der That nicht, denn jedes Glas, wenn es noch so rein wäre, ist ein dichteres Medium als die Luft, und das Auge wird daher beim Gebrauche stets etwas angestrengt. Eine radicale Heilung der Kurz- und Weitsichtigkeit durch den Gebrauch der Brillen erwarten zu wollen, ist aus medicinisch-anatomischen Gründen, so wie der Theorie der Linsengläser zufolge nicht möglich, wohl aber lässt sich die Abnormität des Sehens durch das Brillenglas ziemlich compensiren.

Loupen und einfache Mikroskope. Im eigentlichen Sinne des Wortes ist jede convexe Linse, gleichviel von welcher Brennweite, ein einfaches Mikroskop, weil sie von einem Object, das sich innerhalb ihrer Brennweite befindet, die Strahlen so ins Auge leitet, als kämen sie von einem grösseren Gegenstande her. Vorzugsweise nennt man aber nur solche Convexlinsen einfache Mikroskope, deren Brennweite viel kleiner ist, als die deutliche Sehweite. Beträgt ihre Brennweite einige Zolle, so nennt man solche Linsen Loupen. Im Allgemeinen nennt man alle diese Linsen, da sie zur Vergrösserung nahe liegender Gegenstände dienen, Vergrösserungsgläser. — Diejenige Zahl, welche man erhält, wenn man die Grösse des Bildes durch die des Gegenstandes dividirt, heisst die Vergrösserung des Mikroskops. Die Zahl der linearen Vergrösserung ist um die Einheit grösser, als der Quotient aus der Brennweite der Linse in die Sehweite. Eine Linse von einem Zoll Brennweite giebt mithin, die normale Sehweite zu 8 Zollen angenommen, eine $(8 . 1 + 1) = 9$ malige Linienvergrösserung, eine Linse von 1 Linie Brennweite eine $(12 . 8 + 1) = 97$ malige Linienvergrösserung. Das Quadrat dieser Zahl giebt die Vergrösserung der Fläche noch an. Gewöhnlich versteht man, wenn man von der Vergrösserung der Mikroskope spricht, die letztere.

Ein einfaches Mikroskop vergrössert um so mehr, je kürzer die Brennweite der Linse ist. Der Werth eines solchen Instrumentes ist aber nicht nur abhängig von der Stärke der Vergrösserung, sondern auch von der Deutlichkeit. Letztere wird erreicht, wenn die Krümmungen der Linse vollkommen sphärisch sind und die Halbmesser derselben eine solche Einrichtung haben, dass die Randstrahlen durch die Fassung abgehalten werden, und die sphärische Abweichung fast auf Null reducirt wird. Zur Beseitigung der achromatischen Abweichung wählt man zur Anfertigung der Linsen Medien, wie Edelsteine, die bei grossem Lichtbrechungsvermögen ein geringes Zerstreuungsvermögen besitzen. Anstatt der Linsen aus Glas oder Steinen hat man vorgeschlagen, mit Wasser

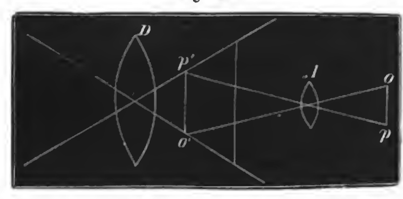

Fig. 267.

oder Alkohol angefüllte Glaskugeln, oder auch nur Wassertropfen auf einem durchlöcherten Metallblech, oder, nach Brewster, die Krystalllinsen aus Fischaugen zu gebrauchen.

Zu den einfachen Mikroskopen gehört auch das neue Wollaston'sche Mikroskop (Fig. 267), welches zwei Plan-Convexlinsen von verschiedener Brennweite enthält, welche mit den ebenen Flächen dem Gegenstande zugekehrt sind, in welchem aber das Licht, welches den durchsichtigen Gegenstand erleuchtet, durch einen unten angebrachten Spiegel gerichtet wird, und zuerst durch eine Convexlinse geht.

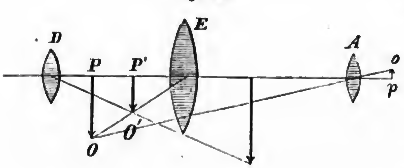
Die zusammengesetzten Mikroskope bestehen im Allgemeinen aus zwei Sammellinsen, von welchen die eine, die sogenannte Objectivlinse, dem Object zugewendet ist, während die zweite, die Ocularlinse, als Mikroskop dient, durch welches die von der Objectivlinse erzeugten Bilder hervorgebracht werden.

Fig. 268.



Ein Object op (Fig. 268), das sich vor der Objectivlinse, etwas ausserhalb ihrer Brennweite befindet, erzeugt hinter der Objectivlinse das Bild $p'o'$ verkehrt und vergrössert. Die Linse D verhält sich zu $p'o'$ wie eine mikroskopische Linse, und zeigt das Bild vergrössert. Zur Aufhebung der achromatischen und sphärischen Abweichung können sowohl die Objectiv- als auch die Ocularlinsen aus mehreren Stücken zusammengesetzt sein. Gewöhnlich ist aber nur das Objectiv aus mehreren achromatisch und aplanatisch verbundenen Stücken zusammengesetzt, und zwar meist aus drei Doppellinsen, deren jede aus einer Crown- und einer Flintglaslinse besteht; als Ocular dient eine einfache Sammellinse. Zwischen der Objectiv- und der Ocularlinse

Fig. 269.

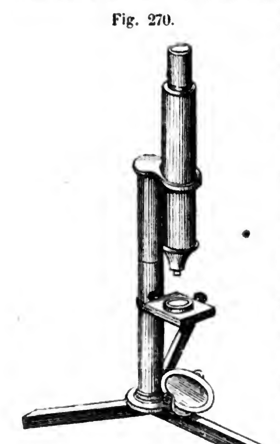


befindet sich noch ein dritter Bestandtheil, die Collectivlinse E (Fig. 269). Diese Linse fängt die aus dem Objectiv A tretenden Strahlen auf, ehe sich dieselben zu einem Bilde vereinigt haben, und es bildet sich ein kleineres Bild $p'o'$, das durch das Ocular betrachtet wird.

Will man den Ort des durch die Collectivlinse modificirten Bildes eines Punktes, z. B. des Punktes o finden, so zieht man von dem Mittelpunkte der Linse E zu dem entsprechenden Punkte o in dem Bilde, das ohne Collectivlinse erzeugt worden wäre, eine Gerade, und trägt in ihr Eo' der aus der Gegenstandsweite Eo folgenden Bildweite gemäss auf.

Ein Hauptgrund der Anwendung der Collectivlinse ist die Vereinigung der Färbung am Rande des Gesichtsfeldes, die trotz der achromatischen Objectivlinse sich ergeben würde, wenn man das von dem Objectiv erzeugte Bild nur durch eine einfache Linse betrachten wollte. Das Collectiv rechnet man gewöhnlich zu dem Oculare, und nennt die Verbindung desselben mit der eigentlichen Ocularlinse ein zusammengesetztes Ocular. Die Bestandtheile des Mikroskopes werden zur Abhaltung fremden Lichtes in eine inwendig geschwärzte und mit Blendungen versehenen Röhre gefasst, die sich an einem Stative befindet, das Vorrichtungen zur Befestigung, genauer Einstellung und Beleuchtung der Gegenstände gewährt. Bei den besseren Mikroskopen hat man für dasselbe Objectiv mehrere Oculare, und für dasselbe Ocular mehrere Objective, durch welche sich stufenweise Vergrösserungen hervorbringen lassen. Fig. 270 zeigt uns ein zusammengesetztes Mikroskop.

Fig. 270.



Die Eigenschaften eines guten Mikroskopes bestehen in der Reinheit und Grösse des Gesichtsfeldes; in der Deutlichkeit und Klarheit des Bildes und in der Stärke der Vergrösserung. Das Gesichtsfeld muss nicht nur in der Mitte, sondern auch am Rande rein und farblos sein und die entsprechende Grösse haben. Man bestimmt die Grösse am besten mit Hülfe eines Mi-

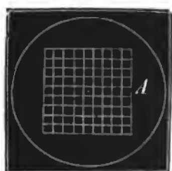


Fig. 271.

krometers (Fig. 271), d. i. ein auf einem Planglase *A* vermittelst aus Diamanten eingeätzten, aus rechtwinklig sich durchkreuzenden Linien gebildetes kleines Gitter, an welchem die Längen dieser Linien und ihre Unterabtheilungen, und demnach auch die Flächen der dadurch entstandenen kleinen Quadrate bekannt sind. Man benutzt dieses Mikrometer nicht nur zum Messen des Gesichtsfeldes, sondern auch zum Messen der Linearen- und Flächenausdehnung unter dem Mikroskop befindlicher Gegenstände, indem man letztere auf das Gitter legt und nach der Länge der Linien oder nach der Anzahl der Quadrate die Längen- und Flächenausdehnung der Objecte misst.

Besondere Anwendung zum Messen kleiner Gegenstände finden die an Schiek und Plössl's Instrumenten angebrachten Schraubenmikrometer. In dem Brennpunkte des Oculars, also an der Stelle, wohin das vom Objectiv erzeugte Bild fällt, befindet sich ein feiner Spinnfaden ausgespannt. Diesen Faden sieht man nun zugleich mit dem vergrösserten Object. Der Objecttisch ist ferner durch eine feine Schraube beweglich. Handelt es sich z. B. um die Bestimmung der Dicke eines Drahtes, so bringt man zuerst durch Umdrehung der Schraube den Draht in eine solche Lage, dass der Spinnfaden genau die eine Seite des Drahtes berührt und notirt den Stand der am Rande eingetheilten Schraube. Darauf wird die Schraube abermals gedreht, bis der Spinnfaden auf der andern Seite den Draht berührt und der Stand der Schraube notirt. Ist es bekannt, den wievielsten Theil eines Zolles die Entfernung zweier Schraubengänge beträgt, so lässt sich die Dicke des Drahtes berechnen, indem man die Entfernung zweier Schraubengänge mit der Anzahl der Umdrehungen multiplicirt. Die Schraube ist nämlich genau um die Dicke des Drahtes vorwärts geschoben worden. Auf diese Weise lässt sich der Durchmesser eines Objectes bis $\frac{1}{100000}$ eines Zolles finden.

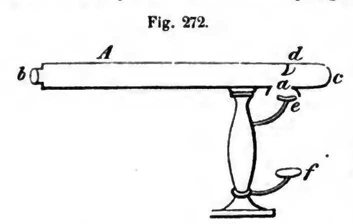
Die Klarheit und Deutlichkeit der Bilder wird am Besten mittelst Probeobjecten bestimmt. Als solche benutzt man besonders die obersten Schuppen der Schmetterlingsflügel (von *Papilio Crataegi*, *P. Menelaus*).

Die Stärke der Vergrösserung eines Mikroskops ist leicht durch Rechnung zu finden, wenn die Brennweite beider Linsen und ihre Entfernung von einander und vom Objecte bekannt sind. Es wird nämlich zuerst die durch das Objectiv und sodann die durch das Ocular bewirkte Vergrösserung bestimmt und darauf beide mit einander multiplicirt; das Product ist gleich der durch das Mikroskop hervorgebrachten Vergrösserung. Will man die

Vergrösserung auf experimentalem Wege bestimmen, so ist das von v. Jacquin angegebene Verfahren zu empfehlen. Man befestigt über dem Ocular einen kleinen Planspiegel, so dass er gegen die Axe des Instrumentes um 45⁰ geneigt ist, und bringt auf das Objectivtischchen ein Mikrometer. Dem Planspiegel gegenüber befindet sich in der Sehweite eine in Linien getheilte Scala, deren Bild mit dem vergrösserten Bilde des Mikrometers im Spiegel übereinander fällt. Beobachtet man nun, wieviel Quadrate des Mikrometers auf eine Abtheilung der Scala gehen, so ergiebt sich die Vergrösserung des Instrumentes.

Ausser den erwähnten dioptrischen Mikroskopen giebt es auch noch katoptrische oder Spiegelmikroskope, unter denen das von Amici das vorzüglichere ist. Dasselbe besteht (Fig. 272) im Wesentlichen aus einem horizontalen Rohre *A*, in welchem sich zwei Metallspiegel *c* und *d* befinden, und aus einem Ocularglase *b*. Der Spiegel *c* ist elliptisch gekrümmt; seine Axe fällt mit der des Rohres zusammen. Der kleinere *d* ist ein Planspiegel und unter einem Winkel von 45⁰ gegen die Axe des Rohres geneigt; seine Mitte liegt in dieser Axe; die spiegelnde Fläche ist nach unten gekehrt und der Oeffnung *a* im Rohre zugewendet, unter der sich der Objectträger *e* befindet. Der Hohlspiegel *f* dient zur Beleuchtung des Gegenstandes. Letzterer sendet seine Strahlen durch die Oeffnung *a* auf den Planspiegel *d*, der sie auf den Hohlspiegel *c* reflectirt; dieser erzeugt am entgegengesetzten Ende des Rohres ein Bild, das durch das Ocular *b* betrachtet wird. Bei diesem Mikroskope fällt die Farbenzerstreuung weg, und man sieht das Object scharf und mit seinen wahren Farben; dieses Instrument hat ferner den Vortheil, dass man mit demselben Gegenstände selbst von bedeutender Grösse betrachten und dass man die Vergrösserung schnell wechseln kann. Dagegen hat es den Nachtheil, dass, besonders wenn man starke Vergrösserungen anbringen will, ein Theil der Lichtstärke verloren geht.

Fig. 272.



Zu den Mikroskopen zählt man ferner das Sonnenmikroskop, das Hydro-Oxygen-Mikroskop und das Lampenmikroskop.

Bei dem Sonnenmikroskope wird das Sonnenlicht zur

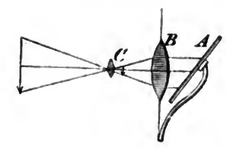


Fig. 273.

Beleuchtung angewendet. Die Sonnenstrahlen werden von dem beweglichen Spiegel *A* (Fig. 273) nach der Sammellinse *B* reflectirt und durch letztere in ihrer Brennweite zu einem Sonnenbilde vereinigt. Die durch den Gegenstand gehenden Strahlen fallen auf die mikroskopische Linse *C*, deren Axe mit jener des Beleuchtungsglases übereinstimmt. Gewöhnlich aber wendet man noch eine zweite Linse *D* an, welche die Convergenz der Strahlen dergestalt vermehrt, dass sie sich hinter der Linse in einem Punkte vereinigen, der sich in der Nähe des Objectes befindet; dadurch wird zugleich die Grösse des beleuchteten Raumes *PQ* gesteigert (siehe Fig. 274).

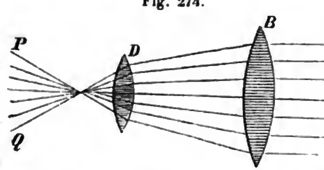


Fig. 274.

Bei dem H y d r o - O x y g e n - M i k r o s k o p e (Gasmikroskope) wendet man zu einer möglichst intensiven Beleuchtung des Gegenstandes das D r u m m o n d'sche K a l k l i c h t an.

Dieses Licht wird erhalten, indem man die Flamme von einem Gemenge von Wasserstoffgas und Sauerstoffgas, das unter dem Namen Knallgas bekannt ist, auf einen kleinen Cylinder von Kalk leitet.

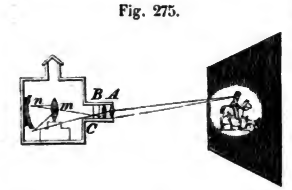
Das von dem weissglühenden Kalke ausgehende Licht wird, ehe es den Gegenstand trifft, durch eine Linse geleitet und concentrirt; in dem Brennpunkte der Linse befindet sich der Gegenstand, der auf diese Weise sehr intensiv beleuchtet wird und durch eine neue, hinter ihm befindliche Linse ein bedeutend vergrössertes Bild auf einer weissen Wand giebt. Da bei diesem Mikroskope die Strahlen nicht, wie bei dem Sonnenlichte, parallel, sondern divergirend auffallen, so ist bei der Aufstellung des Beleuchtungsapparates darauf Rücksicht zu nehmen. Das Hydro-Oxygen-Mikroskop wird meist benutzt, um sehr kleine Gegenstände, wie Infusorien u. s. w., einer grösseren Anzahl von Personen zu zeigen.

Bei dem L a m p e n m i k r o s k o p e beleuchtet man den Gegenstand mit einer Oellampe.

Den Namen M e g a s k o p gebraucht man bei den vorstehenden, besonders bei dem Sonnenmikroskop, wenn dieselben für die Betrachtung grösserer Gegenstände eingerichtet sind. Anstatt der mikroskopischen Linsen enthalten dieselbar eine Linse von grösserer Brennweite.

Die **Laterna magica** oder Zauberlaterne ist eine Art Lampenmikroskop, welche dazu dient, auf Glas gemalte Figuren auf eine weisse Wand zu projiciren. Das Bild der Figuren wird erzeugt durch zwei hinter einander stehenden Sammellinsen *A* und *B* (Fig. 275). Innerhalb der Brennweite der Linse *B* befindet sich das auf Glas gemalte Bild *C*, das von der Flamme *m* vermittelst des Hohlspiegels *n* erleuchtet wird. Das Bild wird auf einer Wand der Oeffnung des Ansatzrohres gegenüber aufgefangen.

Fig. 275.

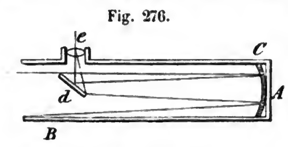


Die **Teleskope** (Fernröhre) werden bekanntlich benutzt, um entfernte Gegenstände vergrössert zu sehen. Ein Teleskop besteht im Allgemeinen aus einem **Objectiv** und einem **Ocular**. Der bildgebende Bestandtheil heisst das Objectiv, der vergrössernde Bestandtheil, durch welchen das Bild betrachtet wird, das Ocular. Ist das Objectiv ein Spiegel, so nennt man das Teleskop **Spiegelteleskop, Reflector** oder **katadioptrisches** (katoptrisches) **Teleskop**; ist das Objectiv hingegen eine Convexlinse oder eine in ihren Wirkungen mit einer solchen übereinstimmenden Linsencombination, so nennt man es **dioptrisches Fernrohr** oder **Refractor**.

Die **Spiegelteleskope** oder Refractoren sind zu einer Zeit ins Leben getreten, wo man die Herstellung der Achromasie für etwas Unmögliches hielt. Der wesentlichste Theil eines Spiegelteleskopes ist ein Hohlspiegel von Metall, welcher dem Gegenstande zugekehrt ist. Die vorzüglichsten Spiegelteleskope sind die von **Newton, Gregory, Cassegrain** und **Herschel**.

Das **Newton'sche Teleskop** besteht aus einem hohlen Cylinder *A B* (Fig. 276) und dem Hohlspiegel *C*. Die von diesem Spiegel kommenden Strahlen werden, noch ehe sie sich zu einem Bilde vereinigen, von einem kleinen Planspiegel *d* auf ein seitwärts angebrachtes Ocular *e* geworfen. Der Planspiegel ist unter einem Winkel von 45° gegen die Axe des Cylinders geneigt und besitzt eine elliptische Form, damit er sich als Kreis auf dem

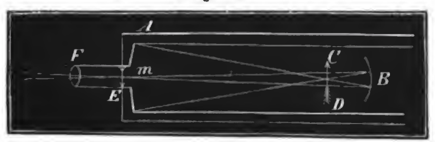
Fig. 276.



Hohlspiegel projicire. Durch die Linse *e* betrachtet man das verkehrte Bild des Gegenstandes.

In Gregory's Teleskop (Fig. 277) sind zwei Hohlspiegel *A* und *B* enthalten. Der grosse *A* ist von dem kleineren *B* ungefähr um die Summe der Brennweite beider entfernt. Die Strahlen werden durch den Hohlspiegel *A* zu dem verkehrten Bilde *CD* vereinigt. Letzteres sendet seine Strahlen nach dem kleinen Hohlspiegel *B*, dessen Axe mit der des grossen zusammenfällt. Das Bild wird sodann von *C* durch eine in der Mitte des Spiegels *A* befindliche kreisförmige Oeffnung *m* nach *E* hingespiegelt, wo ein zweites Bild entsteht, das durch das Ocular *F* vergrössert betrachtet wird.

Fig. 277.



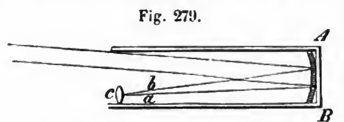
Das Teleskop von Cassegrain (Fig. 278) unterscheidet sich von dem Gregory'schen Fernrohre dadurch, dass es an der Stelle des kleineren Hohlspiegels einen Convexspiegel *B* besitzt. Die von dem Spiegel *A* zurückgeworfenen Strahlen treffen, noch ehe sie sich schneiden, den zweiten Spiegel *B*, und erzeugen erst nach dieser Reflexion ein Bild in *E*, das durch das Ocular *F* vergrössert, aber verkehrt erscheint.

Fig. 278.



Das Herschel'sche Spiegelteleskop (Fig. 279) besteht aus einem Hohlspiegel *AB*, welcher etwas gegen die Axe des hohlen Cylinders geneigt ist, und von weit entfernten Gegenständen nahe am unteren Ende der Röhre ein verkehrtes Bild *ba* des Gegenstandes liefert, welches durch die Linse *c* betrachtet wird. Der Beobachter sieht bei dieser Construction vorn in den Tubus und kehrt dem Gegenstande den Rücken zu.

Fig. 279.



Der ältere Herschel hat auf diese Weise ein Teleskop construirt, dessen Spiegel AB vier Fuss Durchmesser und eine Brennweite von 40 Fuss hat. Dieses Instrument vergrösserte 7000 mal und brachte 36500 mal mehr Licht ins Auge, als von demselben Gegenstande frei dahin gelangen konnte. Noch grösser ist das in der neuesten Zeit von Rosse ausgeführte Instrument mit einem Spiegel von 6 Fuss im Durchmesser.

Die dioptrischen Teleskope oder Refractoren bestehen, wie schon erwähnt, aus einem Objectiv und dem Ocular. Das Objectiv besteht aus einer achromatischen Sammellinse. Nach Frauenhofer benutzt man ein Objectiv, das aus einem Crown- und einem Flintglase besteht. Das erstere, das sich nach aussen kehrt, ist biconvex mit ungleichen Krümmungen; das letztere convex-concav. Häufig bringt man die beiden Linsen, aus denen das Objectiv besteht, nicht mit einander in Berührung, sondern in eine beträchtliche Entfernung von einander, so zwar, dass die zweite Linse nahe in die Mitte des ganzen Fernrohres zu stehen kommt. Wegen dieser Trennung der beiden Objectivlinsen hat man diese Fernröhre dialytische genannt.

Die frühere Idee Euler's, anstatt der Gläser besondere Flüssigkeiten anzuwenden, hat man in der neueren Zeit auszuführen gesucht. Zu diesen Fernröhren, die man aplanatische nennt, hat Brewster das ätherische Oel von Cassia und Sassafras, später auch Schwefelkohlenstoff angewendet. Von Anderen ist Terpentinöl und Kreosot zu den aplanatischen Fernröhren gebraucht worden. Letztere beruhen im Grunde auf demselben Principe, wie die dialytischen Fernröhre, nämlich auf der Trennung der beiden Objectivlinsen.

Sind sämmtliche Ocularlinsen convex, so nennt man das Fernrohr astronomisch oder terrestrisch, je nachdem jene das Bild verkehrt oder aufrecht zeigen.

Wir führen von den dioptrischen Fernröhren das von Galilei, das astronomische und das terrestrische an.

Das Galilei'sche oder holländische Teleskop (Fig. 280) besteht aus der Sammellinse A und der Zerstreuungslinse B; erstere fängt die von einem entfernten Gegenstande kommenden Strahlen auf, so dass ohne die Zerstreuungslinse das Bild mn entstanden sein würde. Auf dieses Ocular B, das innerhalb der Brennweite des Objectives A liegt, fallen die Strahlen, ehe sie sich zu einem Bilde vereinigen, convergirend, und werden durch das Concavglas B parallel

Fig. 280.

ins Auge gelegt. Man sieht daher den Gegenstand in natürlicher Lage.

Um die Vergrösserung dieses Instrumentes zu finden, denke man sich das Auge in der Mitte des Objectivs; von hier aus sieht man das Bild $m'n'$ unter dem Winkel $m'on'$, der zu gleicher Zeit derjenige ist, unter welchem das Object ohne Fernrohr erscheint. Im Fernrohr erscheint aber das Object unter dem Winkel $m\dot{o}n$, wenn man sich das Auge in der Mitte des Oculars denkt. Aus der Vergleichung dieser beiden Winkel ergiebt sich die Vergrösserung des Fernrohres. Die Vergrösserung ist gleich dem Quotienten aus der Brennweite des Oculars in die des Objectives. — Das Galilei'sche Teleskop ist durch die Einführung der astronomischen durch Keppler fast ausser Gebrauch gekommen und wird nur noch in kleinem Massstabe als Theaterperspective gebraucht. Das Ocular muss bei kurzsichtigen Augen näher dem Objectiv stehen, als bei weitsichtigen.

Das astronomische oder Keppler'sche Teleskop (Fig: 281) besteht aus einem achromatischen Objective A und der als Ocular dienenden Sammellinse B. Die Linsen haben eine solche Stellung zu einander, dass die von einem entfernten Objecte ausgehenden Strahlen durch die Linse A zu einem verkehrten Bilde mn vereinigt werden, welches, durch das Ocular B betrachtet, in $m'n'$ vergrössert erscheint. Da dieses Teleskop die Gegenstände in verkehrter Lage zeigt, so leistet es wohl bei astronomischen Beobachtungen gute Dienste, eignet sich aber nicht zum terrestrischen Gebrauche. Ein mit einem Stativ versehenes astronomisches Teleskop wird gewöhnlich Tubus genannt. Verschiedene Vergrösserungen werden durch den Wechsel der Oculare zu Stande gebracht. Das Instrument wird vollkommen, wenn man eine zweite Ocularlinse, das Collectiv, einschaltet, das man je nach dem Zwecke vor oder hinter dem Objectivbilde anbringt.

Fig. 281.

Astronomische Fernröhre, welche zum Aufsuchen lichtschwacher Gegenstände dienen, deren Ort man nicht genau kennt, und welche daher grosse Lichtstärke mit einem grossen Gesichtsfelde verbinden müssen, nennt man Kometensucher.

Das terrestrische (irdische) Teleskop (Fig. 282). Bringt man zwischen dem Ocular und dem Objectivbilde eines astronomischen Teleskops noch eine oder mehrere Convexlinsen BC an, für welche dieses Bild als Object dient, und welche daher ein

Fig. 282.

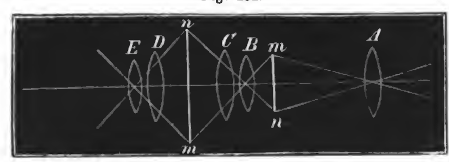


Bild dieses Bildes hervorbringen, so ist es klar, dass das letzte Bild eine umgekehrte Lage gegen die erste haben, also aufrecht sein wird, und dass man daher nur nöthig hat, das letzte Ocular so anzubringen, dass das zweite Bild *nm* in seinen Brennpunkt zu liegen kommt. Das Objectiv *A* vereinigt die von dem Gegenstande herkommenden Strahlen zu einem verkehrten Bilde *mn*, von welchem die Strahlen durch die Linse *BC* und die beiden anderen *DE* gelangen, so dass man das vergrösserte aufrechte Bild *nm* sieht.

Aus einem astronomischen Teleskope kann man ein terrestrisches bilden, wenn man z. B. zwei Linsen, die um die Summen ihrer Brennweiten von einander entfernt sind, an dasselbe anschraubt.

Eigenschaften eines guten Teleskopes sind, dass sie stark vergrössern, dass Bild hell und scharf geben, und dass sie ein hinreichend grosses Gesichtsfeld besitzen. Zu den Einrichtungen, welche alle Teleskope gemein haben, gehören: die Fassung der Ocullargläser in eine eigene Röhre, welche sich in dem das Objectiv enthaltenden Rohre verschieben lässt. Es ist dies deshalb nothwendig, weil, je nach der Beschaffenheit des Auges, die von einem Punkte ausgehenden Strahlen mehr oder weniger divergirend dasselbe treffen müssen, wenn dieser Punkt deutlich gesehen werden soll. Die das Fernrohr verlassenden Strahlen müssen aber stärker oder schwächer divergiren, je nachdem das Auge kurz- oder weitsichtig ist. Das Ocular muss daher vom Objectivbilde entfernt werden können. Da überdies das Objectivbild selbst keine bestimmte Lage hat, so müssen sich auch schon deshalb die Oculargläser um so weiter vom Objectiv entfernen lassen, wenn es auch zur Betrachtung näherer Gegenstände dienen soll.

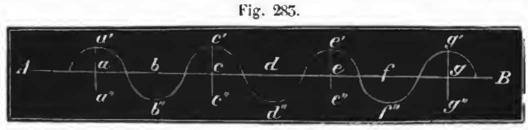
Theorie der Lichterscheinungen.

Die Erscheinungen, durch welche die allmähliche Fortpflanzung des Lichtes nachgewiesen wird, liefern zugleich den Beweis, dass die Wirkung des Lichtes nicht nur eine Aeusserung einer fernwirkenden Kraft, sondern dass sie mit Bewegung verknüpft ist. Wie schon im Eingange des Abschnittes vom Lichte angegeben

worden ist, haben sich bei der Erklärung der Lichterscheinungen zwei Hypothesen geltend gemacht, nämlich die Emanations- oder Emissionstheorie und die Undulations- oder Vibrationstheorie. Nach der letzteren Theorie, nach welcher sich alle Lichterscheinungen am genügendsten erklären lassen, und jetzt auch die allgemein angenommene ist, erfüllt ein eigener Stoff, der Aether (Lichtäther) den Weltraum, so wie das Innere der Körper. Dieses Medium wird von den leuchtenden Körpern in fortschreitende Schwingungen versetzt, welche bis in unser Auge gelangen, und daselbst die Empfindung des Sehens hervorrufen. Das Licht beruht also, ähnlich dem Schalle, auf einer Fortpflanzung von Impulsen, die die leuchtenden Körper auf das Medium, auf den Lichtäther ausüben. Die Existenz des Lichtäthers ist ein Postulat der Undulationstheorie, das allein in dem Ueberzeugenden der Erklärungen und in deren Uebereinstimmung mit den Resultaten der Versuche seine Rechtfertigung findet.

In dem Sinne der Undulationstheorie ist ein Lichtstrahl eine Gerade, nach welcher die Fortpflanzung der Lichtschwingungen erfolgt. Ein Lichtstrahl pflanzt sich von der Oberfläche eines leuchtenden Körpers in der Richtung AB (Fig. 283) fort. Die Fortpflan-

Fig. 283.



zung geschieht dadurch, dass alle Aethertheilchen, welche im Zustande des Gleichgewichtes auf der Linie AB liegen, in Schwingungen gerathen, deren Richtung auf AB senkrecht ist. Die Intensität des Lichtes ist abhängig von der Amplitude dieser Schwingungen.

Die Theilchen des Lichtäthers stellt man sich auf dieselbe Weise schwingend vor, wie die Theilchen einer gespannten Saite, die durch einen Schlag an eines ihrer Enden in Oscillationen versetzt worden ist. Indem das Theilchen a eine vollständige Oscillation macht, pflanzt sich die Bewegung bis zu einem andern Theilchen c fort, so dass dieses Theilchen in dem Momente zu vibriren beginnt, in welchem das Theilchen a seine zweite Oscillation anfängt. Von diesem Zeitpunkte an befinden sich beide Theilchen in gleichen Schwingungszuständen, und erreichen gleichzeitig die Mitte und die Endpunkte der Bahn. Von c aus pflanzt sich nun die Bewe-

gung weiter nach e und nach g fort. Die Entfernung zweier Aethertheilchen, a und c z. B., nennt man eine Wellenlänge. Solche Aethertheilchen, welche um ein Multiplum einer ganzen Wellenlänge auseinander liegen, z. B. a und e, c und g, befinden sich stets in dem nämlichen Schwingungszustande; solche Theilchen dagegen, welche, wie z. B. b, in der Mitte zwischen a und c liegen, befinden sich bezüglich der letzteren in einem entgegengesetzten Schwingungszustande; wenn a und c die äussersten Punkte oberhalb der Bahn AB erreicht haben, ist b unterhalb AB im Grenzpunkte b'' seiner Bahn. Daraus geht hervor, dass zwei Aethertheilchen, die um eine halbe Wellenlänge von einander entfernt sind, sich mit gleichen, aber entgegengesetzten Geschwindigkeiten bewegen.

Die Farbe des Lichtes ist abhängig von der Schwingungsdauer. Die Schwingungen selbst geschehen in regelmässiger Aufeinanderfolge; die Zeiten aber, welche Schwingungen zu ihrer Vollendung bedürfen, können verschieden sein, ebenso wie dies bei dem Pendel oder bei einer schwingenden Saite der Fall ist. Ganz auf dieselbe Weise, wie die in verschiedenen Zeiten vollbrachten Schwingungen des Schalles in dem Gehörorgane Empfindungen hervorbringen, welche wir mit den Namen höhere oder tiefere Töne bezeichnen, erscheinen auch die langsameren oder schnelleren Lichtschwingungen dem Auge als verschiedene Farben. Die kürzesten Schallwellen gehören zum höchsten, die längsten zum tiefsten Ton; die kürzesten Lichtwellen entsprechen der rothen, die längsten der violetten Farbe. Die folgende Tabelle enthält in der ersten Reihe die Wellenlängen der einzelnen Farben, in der zweiten die Verhältnisse zwischen der Zeit einer Aetherschwingung und dem $\frac{1}{1000000000000000}$ Theil einer Secunde, und in der dritten die Anzahl der Billionen Schwingungen, die in einer Secunde vollbracht werden:

Aeusserstes Violett	406	1,28	764
Violett	423	1,36	735
Indigblau	449	1,45	691
Blau	475	1,53	653
Grün	511	1,65	607
Gelb	551	1,78	563
Orange	583	1,88	532
Roth	620	2,00	500
Aeusserstes Roth	645	2,08	481.

Man nimmt an, dass zwischen den Elementen des Lichtäthers

und den mit ihnen nicht gleichartigen Molekülen der Substanz eine Anziehung erfolgt, welche bei Anhäufung des Aethers durch Abstossung vermindert wird. Mit dem Gleichgewichte der Anziehung und Abstossung ist aber bekanntlich ein gewisses Mass von Elasticität verknüpft. Dem freien, d. i. dem nicht im Innern eines wägbaren Körpers enthaltenen Aether schreibt man eine, nach allen Richtungen gleiche Elasticität zu; der aber in dem Innern der wägbaren Stoffe befindliche Aether muss sich so gruppiren, wie es die Anordnung der Moleküle selbst bedingt. Ist die Substanz eines Körpers nicht krystallinisch, oder nach dem regulären Systeme krystallisirt, so besitzt der Aether nach allen Richtungen gleiche Dichte; bei allen andern krystallinischen Körpern, deren Form nicht dem regulären Systeme angehört, verändert sich die Elasticität von dem Uebergange einer Richtung zu einer andern. Man denkt sich die Theilchen des Lichtäthers in einem Körper so gruppirt, dass eine theilweise Erschütterung des Aethers fortgepflanzt werden kann, oder man nimmt an, dass sie keine solche Anordnung haben. In dem ersten Falle ist der Körper durchsichtig, in dem letzteren undurchsichtig.

Wenn eine Lichtwelle an die Grenzlinie zweier Medien gelangt, welche eine verschiedene Elasticität des Aethers besitzen, so entstehen zwei Wellensysteme, von denen das eine in das frühere Medium zurückkehrt, während das andere in das neue Medium übergeht. Das erstere Wellensystem nennt man das zurückgeworfene oder reflectirte, das zweite das gebrochene Licht. Man sieht daher, dass Reflexion und Brechung des Lichtes leicht mit Hülfe der Undulationstheorie erklärt werden können.

Bei der Fortpflanzung der Wellenbewegung in dem Aether findet eine Abhängigkeit statt zwischen der Schwingungsdauer und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit; darin liegt der Grund, warum bei der Brechung des Lichtes, z. B. in einem Prisma, Farben entstehen. Diejenigen Lichtstrahlen, in welchen die Schwingungen des Aethers in kürzerer Zeit vollendet sind, werden im brechenden Medium langsamer fortgepflanzt als solche, in welchen die Schwingungsdauer grösser ist. Der Brechungswinkel ist aber bei gleichem Einfallswinkel von dem Verhältnisse der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der verschiedenen Strahlen im brechenden Mittel bedingt, so dass eine Lichtwelle um so stärker gebrochen wird, je langsamer sie in dem brechenden Medium fortgepflanzt wird. Diejenigen Wellen, welche das violette Licht bilden, werden daher stärker gebrochen, als die rothen Strahlen. Dadurch erklärt man die Zerlegung des zusammengesetzten Lichtes in seine farbigen Bestandtheile.

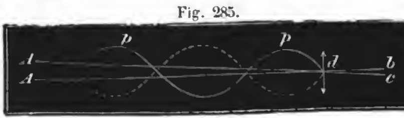
Wenn in einem Medium, das nach allen Richtungen gleich elastisch ist, eine örtliche Störung des Gleichgewichtes stattfindet, so bilden sich zwei Wellen. Die Theilchen der einen schwingen transversal, die der andern longitudinal. In der Lehre vom Licht findet sich nur die eine dieser Wellen, nämlich die mit transversalen Schwingungen. Diese Schwingungen erfolgen entweder nach constantem oder nicht constantem Richtungsgesetze; das Licht, welches auf Schwingungen der letzteren Art beruht, heisst gemeines, das andere polarisirtes Licht. Je nachdem die Bahnen der Aethertheilchen geradlinig, circulär oder elliptisch sind, spricht man von einer geradlinigen, circulären oder elliptischen Polarisation. Wir gehen nun über zu diesen und andern Erscheinungen des Lichtes, die sich nur durch die Undulationstheorie erklären lassen.

Von der Interferenz des Lichtes.

Unter der Interferenz des Lichtes versteht man die Schwächung oder Verstärkung des Lichtes, welche aus dem gegenseitigen Einflusse zweier oder mehrerer nahe zusammenfallender Lichtstrahlen entspringt. Die Undulationstheorie giebt uns eine vollständige Erklärung der Interferenz. Ab und Ac (Fig. 284) seien zwei von derselben Lichtquelle ausgehende einfache Lichtstrahlen, die sich bei d unter einem so kleinen Winkel schneiden, dass man beide Strahlen für parallel halten könnte. War der Weg, den der Lichtstrahl Ac von der Lichtquelle aus zurückgelegt hat, eben so gross wie der des anderen Strahles Ab, oder ist der Weg des Strahles Ac genau um 1, 2, 3 u. s. w. Anzahl Wellenlängen grösser, als der des Strahles Ab, so entspricht die Linie pp dem Strahl Ac, die darunter befindliche punktirte Wellenlinie dem Strahl Ab; die Aetherbewegungen beider erfolgen auf der ganzen Strecke in derselben Richtung, sie verstärken sich also in d und bewirken eine verstärkte Intensität des Lichtes. Haben aber die Lichtstrahlen Ac

Fig. 284.

Fig. 285.



und *Ab* (Fig. 285) bis *d* Wege zurückgelegt, deren Unterschied genau einen halben oder einen ungeraden Multiplum einer halben Wellenlänge (z. B. $^3/_2$, $^5/_2$, $^7/_2$ u. s. w.) gleich ist, so erfolgen die Aetherbewegungen beider in der entgegengesetzten Richtung, und die Bewegungen wirken sich in *d* entgegen; daraus folgt eine Schwächung der Lichtintensität, oder, wenn beiden Strahlen eine gleiche Lichtstärke entspricht, ein vollkommenes Aufheben. Liegt endlich der Unterschied des Ganges der beiden Strahlen zwischen den beiden angegebenen Grenzen, so erfolgt aus der Interferenz in *d* ein Resultat, welches zwischen den erwähnten enthalten ist, d. h. die Intensität wird sich weder verdoppeln, noch sich aufheben.

Das in dem Vorstehenden enthaltene lässt sich kurz folgendermassen ausdrücken: Beträgt der Wegunterschied zweier homogenen gleichgefärbten Lichtstrahlen eine halbe Wellenlänge oder eine ungerade Anzahl halber Wellenlängen, so löschen sie sich, bei gleicher Lichtstärke, vollkommen aus. Licht zu Licht gebracht, kann demnach Dunkelheit erzeugen. Zwei homogene gleichgefärbte Lichtstrahlen summiren dagegen ihre Wirkung, wenn der Wegunterschied gleich Null, oder gleich irgend einer Anzahl ganzer Wellenlängen ist.

Die Interferenz des Lichtes lässt sich am besten durch den Fresnel'schen Spiegelversuch nachweisen.

Lässt man vermittelst eines Heliostaten durch eine kleine Oeffnung *S* (Fig. 286) Sonnenlicht in ein dunkles Zimmer auf zwei ebene Spiegel *ba* und *ac* fallen, so bemerkt man ein Bild von *S* im Spiegel *ba* ungefähr bei *m*, ein anderes Bild von *S* im Spiegel *ac* bei *n*, und die reflectirten Strahlen verhalten sich genau so, als kämen sie von *m* und *n* her. Fängt man die reflectirten Strahlen an der Durchkreuzungsstelle auf, so zeigt sich auf dem weissen Schirme, den man zum Auffangen anwendet, bei Benutzung von weissem Lichte ein System gleichweit abstehender, farbiger gerader Streifen, welche der Durchschnittslinie der Spiegel parallel laufen. Bei Benutzung von homogenem Lichte bemerkt man nur ein System heller, durch dunkle Linien getrennter Streifen. Man verschafft sich das homogene Licht entweder durch Zerlegung des weissen durch ein Prisma, ehe es durch die Spalte geht, oder auch dadurch, dass man die Erscheinung durch ein farbiges Glas oder durch eine gefärbte Flüssigkeit betrachtet. Sieht

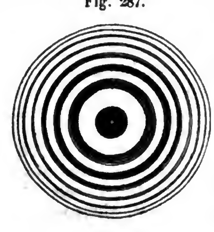
Fig. 286.

man gegen die Durchkreuzungsstelle mit einer Loupe hin, so sieht man das Phänomen vergrössert. Wenn man bei unveränderter Stellung der Spiegel und der Loupe die Farbe des Lichtes wechselt, so bemerkt man, dass die von rothem Lichte erzeugten Streifen noch einmal so breit sind, als diejenigen, welche vom violettem Lichte herrühren; lässt man die Farbe von Roth durch die Farben des Spectrums bis zu Violett fortschreiten, so werden diese rothen Streifen allmählich schmäler. Auf diese Weise erklärt sich die Beschaffenheit der Interferenzerscheinungen in weissem Lichte, welche das Resultat der Uebereinanderlegung von Erscheinungen ist, die die einzelnen Farben, welche im weissen Lichte enthalten sind, für sich allein hervorbringen würden. Im weissen Lichte sieht man nur in der Mitte zwei dunkle Linien, während man im homogenen zahlreiche intensiv schwarze Linien wahrnimmt.

Wenn man die Interferenzerscheinungen nur im zusammengesetzten Lichte beobachten will, so kann man den Fresnel'schen Versuch auch vermittelst Kerzen- oder Lampenlicht darstellen, welches man durch eine enge Spalte gehen und auf die vorgerichteten Spiegel fallen lässt.

Die Newton'schen Farbenringe oder die Farben dünner Blättchen. Die Aufhebung der Lichtbewegung an gewissen Stellen durch Interferenz findet statt, wenn das Licht durch dünne Schichten geht, wodurch dann die Newton'schen Farbenringe oder die Farben dünner Blättchen oder Schichten entstehen. Seifenblasen, Blättchen von dünn ausgeblasenem Glase, ein auf der Oberfläche des Wassers ausgebreiteter Oeltropfen zeigen diese Farben besonders lebhaft. Die Farben des angelaufenen Stahls kommen auf gleiche Weise mittelst einer dünnen, durchsichtigen Oxydschicht zu Stande. Gleiches geschieht in der Erzeugung von Farben durch Metallochromie (vergl. S. 269). Man bemerkt diese Farbenringe ferner an dünnen Luftschichten, zwischen Glasplatten, in den Sprüngen der Krystalle, an Fischschuppen u. s. w.

Fig. 287.



Wenn man eine sehr schwach gekrümmte Convexlinse auf ein Planglas legt, so bildet sich im reflectirten Lichte am Berührungspunkte ein dunkler Fleck, welcher von concentrischen Farbenringen (Fig. 287) umgeben erscheint; im durchgehenden Lichte erscheint die Berührungsstelle hell und die Farben der Ringe complementär der ersteren. Eine solche Zusammenstellung eines Convex- und Planglases nennt man das Newton'sche Farbenglas.

Im weissen Lichte decken sich die Streifen der verschiedenen Farben theilweise, und in der Farbenreihe, welche hier wahrzunehmen ist, hat man verschiedene **Ordnungen** unterschieden, welche in den meisten Fällen als Normalscala zur Bezeichnung der Farbennüancen dienen.

Diese Ordnung ist von der Mitte aus folgende:

Erster Ring oder erste Ordnung: Schwarz, Blau, Weiss, Gelb, Orange, Roth.

Zweiter Ring oder zweite Ordnung: Purpurroth, Blau, Gelbgrün, Gelb, Carmoisinroth.

Dritter Ring oder dritte Ordnung: Dunkelblau, Blau, Grasgrün, Roth, Carmoisin.

Vierter Ring oder vierte Ordnung: Grün, Gelbroth, Roth.

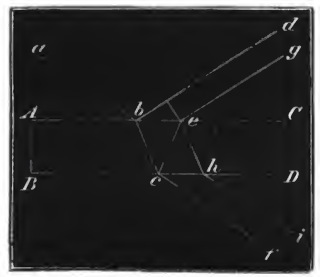
Fünfter Ring oder fünfte Ordnung: Blaugrün, Weiss, Blassroth.

Sechster Ring oder sechste Ordnung: Blaugrün, Blassroth.

Siebenter Ring oder siebente Ordnung: Sehr blass Blaugrün, sehr blass Roth.

Wendet man anstatt des weissen Lichtes homogenes an, so sieht man an dem Farbenglase nur helle und dunkle Kreise, welche, wenn die Beleuchtung nach der Farbenordnung von Roth in Violett übergeht, allmählich kleiner werden. Bei reflectirtem Lichte verhalten sich die Quadrate der Halbmesser der hellen Ringe wie die ungeraden Zahlen, der dunklen Ringe dagegen wie die geraden Zahlen. Bei durchgehendem Lichte bilden sich an den Stellen, wo sich im reflectirten Lichte helle Stellen zeigen, dunkle, und umgekehrt. Bringt man eine tropfbare Flüssigkeit zwischen die Gläser, so nehmen die gleichnamigen Kreise in dem Verhältnisse an Grösse ab, als der Brechungsexponent der Flüssigkeit grösser ist.

Fig. 288.



Die Newton'schen Farbenringe lassen sich durch die Interferenz des Lichtes vollständig erklären. *ABCD* (Fig. 288) sei ein nicht krystallinisches, dünnes, durchsichtiges Blättchen, auf welches ein Lichtstrahl in der Richtung *ab* auffalle. Dieser Strahl wird theils in der Richtung *bd* reflectirt, theils nach *bc* gebrochen; dieser letztere Theil wird bei seinem Auffallen auf die zweite Fläche *BD* abermals in

das Mittel *ce* reflectirt, theils aber tritt er gebrochen *cf* parallel dem ursprünglichen *ab* aus dem Blättchen hinaus. Der reflectirte Strahl *ce* wird bei *e* an der Fläche *AC* gebrochen *eg*, theils reflectirt *eh*. Letzterer Strahl *eh* wird ebenfalls theils zurückgeworfen, theils gebrochen nach *hi* u. s. w. Die reflectirten Strahlen *bd* und *eg* werden zur Interferenz gelangen müssen, ebenso *cf* und *hi*.

Die beiden interferirenden Strahlen haben aber nicht dieselbe Wegesstrecke zurückgelegt, denn von den Strahlen *bd* und *eg* hat *eg* die Strecke $bc + ce$ mehr durchlaufen, ebenso wie von den Strahlen *cf* und *hi* der Strahl *hi* die Strecke $ce + eh$ mehr zurückgelegt hat, als der andere. Stellt man sich vor, dass die Strahlen nahe senkrecht auf die erste Fläche fallen, so ist der Unterschied in den zurückgelegten Wegen der interferirenden Strahlen ziemlich gleich der doppelten Dicke der Platte *ABCD*. Es sei die Dicke der Platte $\frac{1}{4}\lambda$, die Wellenlänge mit λ bezeichnet, so ist der Wegunterschied der beiden Strahlen doppelt so gross und die Schwingungszustände würden, als entgegengesetzte, sich aufheben. Ist die Dicke der Platte $= \frac{1}{2}\lambda$, so beträgt der Wegunterschied der beiden Strahlen eine ganze Wellenlänge, und die reflectirten sowohl, als auch die durchgelassenen Strahlen verstärken sich und die Platte erscheint hell. Beträgt die Dicke der Platte $\frac{3}{4}$ Wellenlänge, d. h. der Wegunterschied $1\frac{1}{2}$ Wellenlänge, so heben sich die Strahlen wieder auf, und die Platte erscheint dunkel. Stellen wir uns nun eine Schicht vor, deren Dicke von einem Punkte aus gleichförmig zunimmt, wie die erwähnte Luftschicht zwischen einer Linse und einem Planglase, so muss an der Berührungsstelle ein heller Fleck entstehen, weil bei der auf dieser Stelle verschwindenden Dicke der Luftschicht der Wegunterschied der beiden interferirenden Strahlen als verschwindend klein betrachtet werden kann. Etwas weiter von dieser hellen Stelle entfernt, wo die Dicke der Schicht $= \frac{1}{4}\lambda$, wo also der Wegunterschied der Strahlen $= \frac{1}{2}\lambda$ ist, muss in Folge des entgegengesetzten Schwingungszustandes der Strahlen ein dunkler Ring zum Vorschein kommen. An allen Stellen, wo der Gangunterschied der Strahlen ein ungerades Multiplum einer halben Wellenlänge beträgt, entstehen dunkle Ringe, während die zwischen denselben liegenden hellen Ringe sich da bilden, wo die Dicke der Schicht $= \frac{1}{2}, \frac{2}{2}, \frac{3}{2}, \frac{4}{2}, \frac{5}{2}$ .... Wellenlängen, der Wegunterschied der Strahlen daher 1, 2, 3, 4, 5 ganze Wellenlängen beträgt.

Bei Anwendung von homogenem Lichte erhält man nur helle und dunkle Streifen, bei Anwendung von weissem Lichte aber verschiedene Farben, da die Ringe der einzelnen Farben nicht gleich

breit sind, und sich an gewissen Stellen nur eine oder mehrere der im weissen Lichte enthaltenen Farben aufheben. An diesen Stellen entsteht dann eine Farbe, welche der Mischung der übrig gebliebenen, nicht aufgehobenen entspricht. Diese farbigen Ringe dehnen sich aus, wenn man den Druck verstärkt.

Die Newton'schen Farbenringe lassen sich, nach Ritchie, von grosser Schönheit erhalten, wenn man zwei ebene Glasplatten, von denen die eine am Rande ringsum ungefähr $^1/_4$ Zoll weit vergoldet ist, in der Mitte zusammendrückt. Nimmt man anstatt runder Scheiben lange breite Streifen, so lassen sich anstatt der farbigen Ringe farbige Streifen hervorbringen. Die schon erwähnte Metallochromie, die in den Gewerben zur Erzeugung farbiger Ringe vielfache Anwenduug findet, beruht darauf, dass eine sich ablagernde Schicht von Metalloxyd von verschiedener Dicke die Farben dünner Schichten zeigt.

Was in dem Vorstehenden in Bezug auf die Erklärung der Farbenringe mit Hülfe der Interferenz gesagt worden ist, bezieht sich nur auf das durchgehende, nicht aber auch auf das reflectirte Licht. Denn, wenn man annehmen muss, dass die Erscheinungen in dem durchgehenden, wie in dem reflectirten Lichte gleich sein müssen, so zeigt dagegen der Versuch, dass die Erscheinungen im reflectirten Lichte genau die umgekehrten sind, wie im durchgehenden, so dass helle Stellen dunkel, dunkle Stellen dagegen hell erscheinen. Von den reflectirten Strahlen muss demnach der eine um $^1/_2$ Wellenlänge verzögert worden sein. Der Grund davon liegt darin, dass es durchaus nicht gleichgültig sein kann, ob eine Lichtwelle an der äusseren oder inneren Grenzfläche eines durchsichtigen Mittels reflectirt wird. In dem vorliegenden Falle, wo sich eine dünne Luftschicht zwischen zwei Glasflächen befindet, wird das eine Strahlenbündel in Glas, das andere in Luft reflectirt. Dadurch wird dieselbe Wirkung erzeugt, als ob der eine Strahl gegen den andern um eine halbe Wellenlänge verzögert würde, wodurch das Abweichende der Farben dünner Schichten im reflectirten Lichte seine vollständige Erklärung findet.

Young benutzte zur Erklärung des in dem vorstehenden Satze Gesagten die Wirkung zweier elastischer Kugeln. Wenn nämlich eine elastische Kugel an eine gleich grosse ruhende anstösst, so nimmt die zweite die Geschwindigkeit der ersten an, während die erste zur Ruhe gelangt. Dasselbe findet statt, wenn sich das Licht in einem homogenen elastischen Medium fortpflanzt; die Schwingung eines Theilchens wird auf das nächstfolgende übertragen, während das erstere zur Ruhe kommt. Wenn aber eine elastische Kugel an eine grössere ruhende stösst, so wird sie mit gleicher, aber entgegengesetzter Geschwindigkeit zurückgeworfen; dasselbe geht vor sich, wenn die Schwingung aus einem dünneren in ein dichteres Mittel übergeht. Stösst endlich eine elastische Kugel an eine kleinere ruhende, so bewegt sich die letztere in der ursprünglichen Rich-

tung fort. Etwas ähnliches findet statt, wenn die Schwingung aus einem dichteren in ein dünneres Mittel übergeht, indem das schwingende Theilchen noch etwas in das dünnere Mittel eindringt, und erst dann die reflectirte Welle erzeugt, wird der eine Strahl gegen den andern um eine halbe Wellenlänge verzögert.

Von der Beugung (Inflexion, Diffraction) des Lichtes.

Mit der Annahme, dass das Licht, so lange es sich in einem und demselben gleichartigen Mittel bewegt, geradlinig sich fortpflanze, und dass jeder undurchsichtige Körper, welcher den von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen ausgesetzt ist, einen scharf begrenzten Schatten werfen müsse, dessen Grenzen von den Richtungen gebildet würden, welche von dem lichtaussendenden Punkte ausgehend, den undurchsichtigen Körper berühren, sind gewisse Erscheinungen unverträglich. Denn es entstehen zuweilen in der Gegend, wo sich diese Grenzen befinden sollten, dunkle oder helle Streifen bei homogenem Lichte, und abwechselnd von verschiedenfarbigem Lichte erhellte Streifen bei weissem oder zusammengesetzten Lichte. Das Licht, welches jene Streifen hervorruft, nennt man gebeugtes Licht, und die dadurch erzeugten Erscheinungen Beugungs-, Inflexions- oder Diffractionserscheinungen.

Eine Erscheinung dieser Art ist an dem Schatten eines schmalen, undurchsichtigen Körpers zu bemerken, wenn man auf den letzteren Sonnenlicht durch eine kleine Oeffnung am Fensterladen eines dunklen Zimmers treten lässt. Man findet in diesem Falle, dass der Schatten des schmalen Körpers weit breiter ist, als er es sein sollte, wenn man annimmt, dass das Licht sich geradlinig fortpflanze. In der Mitte, wo man den intensivsten Schatten erwartet, bemerkt man der Länge nach einen hellen Streifen, zu beiden Seiten desselben dunkle Linien, und weiterhin auch einige farbige Säume. Wenn man die durch die Oeffnung eindringenden Strahlen auf einer weissen Tafel auffängt, so beobachtet man einen erleuchtetern Raum, als sich aus der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes ergeben würde; zugleich findet man, dass der erleuchtete Raum mit farbigen Ringen an seinem Umfange umgeben ist. Diesen Beugungserscheinungen, welche zuerst in der Mitte des 17ten Jahrhunderts von Grimaldi beobachtet worden sind, liegt eine Ablenkung des Lichtes von der geraden Richtung zu Grunde, sobald dasselbe an den Rändern undurchsichtiger Körper vorbeigeht. Young war der erste, welcher diese Erscheinungen durch die Undulationstheorie zu erklären versuchte; Fresnel, Mayer,

Frauenhofer, Herschel und **Schwerd** bildeten die Theorie der Beugung weiter aus.

Wenn man das durch eine feine Oeffnung des Fensterladens dringende Licht durch eine zweite Oeffnung gehen lässt, so bemerkt man, wenn man das Licht auf einer weissen Tafel auffängt, einen weissen runden Fleck, der von mehreren Ringen umgeben ist, welche weit breiter erscheinen, als sie nach der Annahme der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes sein müssten. **Frauenhofer** benutzte zur Beobachtung dieser Erscheinungen ein Teleskop, das so gerichtet wurde, dass man die Spalte am Fensterladen deutlich sah, und vor dessen Objectiv man die andere Spalte anbrachte. Sieht man durch das Ocular nach der Lichtquelle hin, so bemerkt man in der Mitte des Gesichtsfeldes einen weissen Streifen, welcher gegen seine beiden Enden zu gelb oder roth gefärbt ist; zu beiden Seiten beobachtet man eine Reihe von Farbenbildern *bcd* (Fig. 289), die allmählich in einander übergehen und

Fig. 289.



endlich verschwinden. In *a* ist das Farbenbild am intensivsten und enthält fast alle prismatischen Farben, so dass die violette Farbe sich an dem dem weissen Streifen zugekehrten Ende befindet, während das rothe am entgegengesetzten Ende ist; nur in dem ersten Farbenbilde erkennt man alle sechs Farben; beim zweiten Farbenbilde vermisst man Violett, beim dritten Violett und Blau u. s. w. Je schmäler die Spalte vor dem Objectiv ist, desto breiter sind die einzelnen Farbenbilder.

Wenn man diese Beugungserscheinungen für homogenes Licht beobachten will, was man erhält, indem man der lichtgebenden Spalte jenseits des Fernrohrs ein Prisma vorsetzt, oder die Erscheinung durch eine gefärbte Flüssigkeit oder ein gefärbtes Prisma betrachtet, so erscheinen statt der Farbenbilder Streifen von der Farbe des durchgelassenen Lichtes, welche durch dunkle Zwischenräume von einander getrennt sind. Die Intensität des farbigen Lichtes und der dunklen Streifen ist nicht überall gleich; je weiter sich die Streifen von der Mitte entfernen, desto schwächer werden sie, bis sie endlich unsichtbar werden.

Bringt man vor das Object des Fernrohres, auf welches weisses Licht fällt, einen Schirm mit **zwei** gleichen, nahe neben einander befindlichen Oeffnungen, so bemerkt man Spectra, welche denen

ähnlich sind, die man bei Anwendung einer einzigen Spalte erhält. Nach Fraunhofer unterscheidet man: 1) Spectra, welche schon bei einer einzigen Spaltöffnung vorhanden sind, als Spectra der ersten Ordnung oder äussere Spectra; 2) Spectra, welche bei Anwendung von zwei Spaltöffnungen sichtbar werden, und bei zunehmender Anzahl der Spaltöffnungen sich fort erhalten, als Spectra der zweiten Ordnung oder mittlere Spectra; 3) Spectra, die erst bei drei Spaltöffnungen entstehen und bei zunehmender Anzahl der Spaltöffnungen sich vervielfältigen, aber an Intensität verlieren.

Lässt man endlich weisses Licht durch eine sehr grosse Anzahl schmaler Oeffnungen gehen, deren Entfernungen von einander gleich sind, indem man vor das Fernrohr ein Gitter stellt, so bemerkt man, wenn man durch das Fernrohr nach einer Lichtlinie sieht, welche jenen Oeffnungen parallel ist, eine Reihe farbiger Streifen, welche in der Ordnung der prismatischen Farben auf einander folgen. Das Gitter zu diesen Versuchen erhält man, wenn man die cylindrischen Theile von Stecknadeln parallel neben einander und in gleichen Entfernungen auf einen viereckigen messingenen Rahmen befestigt. Zu genaueren Versuchen aber spannt man entweder Gold- oder Silberdraht in die Gänge sehr feiner Schrauben, oder radirt in ein mit Goldblättchen belegtes Planglas Parallellinien, oder zieht nur mit einem Diamant solche Linien in Planglas. Fraunhofer benutzte zu seinen Versuchen ein auf die letzte Art angefertigtes Gitter aus 3601 Linien, deren je zwei von ihrer Mitte aus gerechnet, nur 0,0001223 Pariser Zoll von einander abstanden.

Die Farbenmischungen sind vorzugsweise prachtvoll, wenn man mehrere runde oder eckige Oeffnungen vor das Objectiv des Fernrohres bringt. Während bei Anwendung einer einzigen Spalte sich helle und dunkle Streifen zeigen, welche mit der Richtung der Spalte parallel gehen, gestalten sich die Erscheinungen anders, wenn man als Oeffnungen Dreiecke, Kreise, Parallelogramme u. s. w. anwendet; bei einer kreisförmigen Oeffnung entstehen z. B. dunkle und helle Kreise.

Die Beugungserscheinungen lassen sich, nach Schwerd, auch ohne Fernrohr und ohne dunkles Zimmer beobachten, wenn man das erwähnte Gitter vor das Auge hält und nach einem Lichtpunkte oder nach einer Lichtlinie hinsieht. Als Lichtpunkt benutzt man das Spiegelbild der Sonne, das auf einem blanken Metallknopfe, auf der äusseren Fläche eines inwendig geschwärzten Uhrglases oder einer gefüllten Thermometerkugel entsteht. Die Retina vertritt

in diesem Falle den Schirm, welche in dem Vorstehenden zum Auffangen des Bildes benutzt wurde. Eine leuchtende Linie erhält man durch Spiegelung einer Stricknadel im Sonnenlichte.

Die enge Spalte stellt man am einfachsten dar, indem man mit der Spitze eines Federmessers einen feinen Schnitt in ein Stückchen Stanniol macht, welches auf Glas befestigt ist. Die einfacheren Gitter lassen sich aus Stanniol, das auf Glas geklebt ist, oder aus Kartenpapier ausschneiden, oder auch darstellen, wenn man ein Stückchen Glas mit schwarzer Tusche überzieht und mit einem feinen Stift den Ueberzug in genau parallelen Linien wegnimmt.

Schöne Beugungserscheinungen bemerkt man, wenn man durch den dünnen Theil des Bartes einer Vogelfeder, durch enge gewebte Zeuge (Mousselin, Flor, Drahttuch), oder durch ein mit Lycopodium bestreutes Glas auf einen nicht zu nahen erleuchteten Punkt sieht. Hierher gehören ferner das Farbenspiel an den feinen Haaren der Hüte, wenn man sie nach der Sonne ansieht, die Farbenringe um den Mondkörper bei totalen Mondfinsternissen u. s. w.

Durch Beugung erklärt man das lebhafte Farbenspiel der Barton'schen Irisknöpfe, so wie das der Perlmutter. Brewster machte 1829 die Entdeckung, dass das Farbenspiel der Perlmutter durch Abdruck der Oberfläche auf Siegellack, arabisches Gummi, Blei, Zinn und leichtflüssiges Metallgemisch übertragen werden könne. Da die Erscheinung an diesen Körpern sehr vorzüglich ist, so hat man in der neueren Zeit versucht, dieselbe durch Galvanismus auf Silber überzutragen, indem man das leichte, flüssige Metallgemisch nach dem Erkalten in Cyansilberlösung als negativen Pol einer kleinen Batterie anwendet. Brewster bemerkte dasselbe Farbenspiel auch an der Oberfläche einer stark eingekochten Gallerte aus Kalbsfüssen. Zu diesen Erscheinungen gehört ferner das Farbenspiel der Flügeldecken einiger Käfer, das Schillern verwitterten Glases, vieler Farbstoffe, des Indigo, Waids, Hämateïns, Murexids, Hydrochinons, oxalsauren Platinoxyduls, Magnesium-Platincyanürs.

Von der doppelten Brechung des Lichtes.

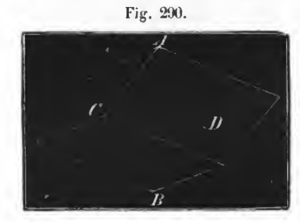
Die doppelte Brechung des Lichtes ist diejenige Erscheinung, bei welcher durch alle Krystalle, deren Krystallform nicht dem regulären Systeme angehört (also kein Würfel, kein reguläres Octaëder und kein Rhombendodekaëder ist), ein durchgehender Lichtstrahl in zwei Strahlen getheilt wird, so dass jeder Gegenstand durch einen solchen Krystall doppelt gesehen wird. Von den zwei Strahlen, welche durch die Zertheilung des einen einfallenden Strahes entstehen, befolgt der eine die Gesetze der einfachen Brechung (s. Seite 349) und heisst der gewöhnlich gebrochene Strahl; der zweite, welchen man den ungewöhn-

lich gebrochenen nennt, befolgt diese Gesetze nicht. Nach dem Austreten aus dem Krystalle gehen die beiden Strahlen parallel neben einander fort.

Die doppelte Brechung wurde im siebzehnten Jahrhundert von Bartholin in Kopenhagen an einem Krystall von kohlensaurem Kalk oder Kalkspath entdeckt, welcher namentlich in Island gefunden und deshalb isländischer Krystall genannt wird. In Folge seiner Eigenschaft, die Strahlen doppelt zu brechen, und wegen seiner blättrigen Structur führt dieses Mineral auch den Namen isländischer Doppelspath. Bartholin fand, dass die Erscheinung der doppelten Brechung durch eine besondere Einwirkung des Krystalles auf das Licht erzeugt werde, und bemühte sich, die Gesetze, nach welchen diese Erscheinung vor sich geht, zu ermitteln. Der erste aber, welchem es gelang, diese Gesetze aufzufinden, war Huyghens.

Wir betrachten zunächst die Erscheinung der doppelten Strahlenbrechung beim Kalkspath. Da sein Blätterdurchgang mit seinen Flächen parallel ist, so lässt sich aus demselben durch zweckmässiges Spalten ein Rhomboëder (Fig. 290) gewinnen, welches die Kernform des Kalkspathes ist. Die beiden einander gegenüber liegenden Ecken A und B werden von drei gleichen stumpfen Winkeln gebildet, deren Ebenen gleich gegen einander geneigt sind; an den übrigen Ecken stossen zwei gleiche spitze und ein stumpfer Winkel zusammen. Denkt man sich die Ecken A und B durch eine gerade Linie verbunden, so hat man die krystallographische Hauptaxe des Krystalles.

Fig. 290.



Eine solche Axe findet sich in jedem Punkte des Kalkspathes, da der letztere aus Massentheilchen besteht, deren Form der der Kerngestalt ähnlich ist. Die Axen aller dieser Gestalten sind einander parallel. Eine Ebene $ABCD$, welche der gemeinschaftlichen Richtung der Axen parallel ist und auf einer Fläche, welche den Doppelspathkrystall begrenzt, senkrecht ist, heisst ein Hauptschnitt. Die Linie AB ist die optische Axe oder die Axe der doppelten Brechung und fällt mit der krystallographischen Hauptaxe zusammen.

Bringt man ein mit einer kleinen Oeffnung versehenes Kartenblatt auf eine Fläche des Doppelspathes und leitet dann durch die


Fig. 291.

Oeffnung einen Lichtstrahl, so findet man, dass derselbe im Krystall eine doppelte Brechung erleidet (Fig. 291). Noch besser beobachtet man diese Erscheinung, wenn man aus einem Doppelspathrhomboëder ein Prisma schleift, da dasselbe zugleich ein doppeltes Farbenbild giebt. Betrachtet man den Gang der beiden Strahlen genauer, so findet man, dass der eine sich nach den gewöhnlichen Brechungsgesetzen richtet, und dass der Sinus seines Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels sich verhält wie 1,6543 zu 1, oder wie 1 zu 0,6045. Für den andern Strahl, welcher andere Brechungsgesetze befolgt, stellt sich eine von 1,483 verschiedene Zahl heraus, welche von der Richtung, in welcher dieser Strahl den Krystall durchläuft, abhängig ist.

Um genau die Grösse der Brechung für diese Strahlen zu bestimmen, hat Melus ein einfaches Mittel angegeben. Man zeichnet auf eine Elfenbeinplatte ein rechtwinkliges Dreieck *ABC* (Fig. 292), dessen eine Kathete sehr klein im Verhältniss zu der andern ist. Betrachtet man dieses rechtwinklige Dreieck durch den Kalkspath *KT*, so erscheint es doppelt, nämlich in *ABC* als auch in *A′B′C′*. Beide Bilder schneiden sich in einem bestimmten Punkte *D′*. Die Linie *C′A′* schneidet die Linie *AB* in *D′*. Setzt man nun *AD* = *A′D′*, so findet man den Punkt *D* in *CA*, und dieser entspricht dem Punkte *D′* in *C′A′*. Der gewöhnlich gebrochene Strahl von *D′* und der ungewöhnlich gebrochene von *D* vereinigen sich bei ihrem Austritt aus dem Krystall zu einem Strahle *JL*. Umgekehrt muss ein Strahl *LJ*, welcher vom Auge nach dem Krystall geht, in die beiden Strahlen *JD* und *JD′* zerlegt werden. Bestimmt man nun den Einfallspunkt *J* und die Neigung des Strahles gegen *ADBC*, so kann man daraus die Brechungsgesetze finden.

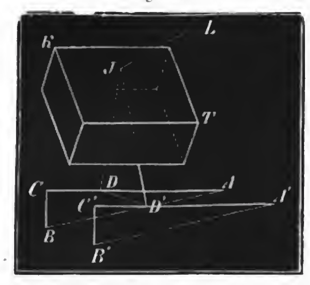
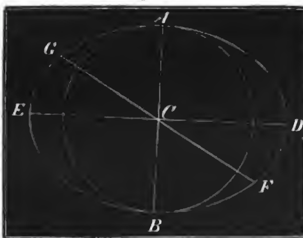


Fig. 292.

Es ist früher angegeben worden, dass, wenn das brechende

Mittel nicht krystallinisch ist, oder mindestens, wenn es krystallisirt, dem regulären Systeme angehöre, die Elasticität des Aethers, in dem das Licht sich fortpflanzt, nach allen Richtungen gleich gross ist. Ein in ein solches Mittel einfallender Strahl muss demnach nach den gewöhnlichen Gesetzen gebrochen werden. Ist aber umgekehrt die Elasticität des Aethers nicht in allen Richtungen gleich, wie dies bei allen Krystallen der Fall ist, welche nicht dem regulären Systeme angehören, so erleidet, mit Ausnahme eines Falles, der Strahl eine doppelte Brechung. Der Wellentheorie zufolge pflanzen sich die Lichtwellen in einem stärker brechenden Mittel langsamer fort, als in einem schwächer brechenden. Die ungleiche Brechung der Strahlen im Kalkspath ist nur eine Folge der verschiedenen Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Letztere ist bei dem ausserordentlich gebrochenen Strahle grösser, als bei dem stärker gebrochenen ordentlichen Strahle. Da der Brechungsexponent der gewöhnlichen Strahlen stets der nämliche ist, so haben letztere nach allen Richtungen hin eine gleiche Geschwindigkeit, während der Brechungsexponent ausserordentlich gebrochener Strahlen sich mit der Richtung ändert, in Folge dessen die Strahlen eine verschiedene Geschwindigkeit annehmen müssen. Wenn von einem Punkte aus gewöhnlich gebrochene Strahlen ausgehen und sich im Kalkspath nach allen Richtungen ausbreiten, so ist die Oberfläche der Lichtwellen wie in jedem einfach brechenden Medium kugelförmig. Die Oberfläche der Lichtwellen der ausserordentlich gebrochenen Strahlen muss wegen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit, welche mit der Richtung sich ändert, eine andere sein. Ist die Richtung, in welcher die ausserordentlich gebrochenen Strahlen durch den Krystall gehen, auf die Hauptaxe desselben rechtwinklig, so ist der Brechungsexponent, wie schon angegeben worden ist, $= 1{,}483$. Er ist in diesem Falle am kleinsten, und die ausserordentlich gebrochenen Strahlen besitzen die grösste Geschwindigkeit. Je mehr sich nun die Richtung dieser Strahlen der der Hauptaxe nähert, desto mehr werden sie gebrochen und desto langsamer pflanzen sie sich in dem Krystall fort. Fällt die Richtung mit der der Hauptaxe zusammen, so werden die Strahlen gar nicht gebrochen. AB (Fig. 293) stelle die optische Axe des Kalkspathes vor; $CA = CB$ die Geschwindigkeit des gewöhnlich gebrochenen, $CD = CE$ die Geschwindigkeit des ausserordentlich gebrochenen Strahles, so wird durch die Ellipse $ADBE$ das Gesetz ausgedrückt, welchem zufolge die Geschwindigkeit der ausserordentlich gebrochenen Strahlen im Kalkspath mit ihrer Richtung verändert wird. Fällt diese Richtung mit der der optischen Axe





zusammen, so pflanzen sich alle Strahlen mit gleicher Geschwindigkeit fort, weil allen der Brechungsexponent 1,654 (s. Seite 412) zukommt. Die Geschwindigkeit der ausserordentlich gebrochenen Strahlen für jede andere Richtung, die mit der Axe *AB* einen bestimmten Winkel bildet, findet man, wenn man sich unter diesem Winkel von *C* aus die Linie *CG* gezogen denkt. Die Geschwindigkeit ist am grössten, wenn die Richtung des ausserordentlich gebrochenen Strahles mit der optischen Axe einen rechten Winkel bildet. Dreht man nun die ganze Figur um die Axe *AB* herum, so entsteht aus der Umdrehung des Kreises eine Kugel, durch die Umdrehung der Axe ein Ellipsoid, d. i. ein Körper, der sich der Kugel nähert, in der Richtung *AB* aber zusammengedrückt ist.

Marx empfiehlt zu Versuchen über die doppelte Brechung des Lichtes die Krystalle von salpetersaurem Natron, dessen Doppelbrechung weit stärker als die des Kalkspathes ist; der Brechungsexponent des gewöhnlichen Strahles = 1,481, des ungewöhnlichen Strahles = 1,251 (beim Kalkspath beträgt das Verhältniss 1,654 und 1,483).

Auf ähnliche Weise, wie im Kalkspath, geht die doppelte Brechung des Lichtes in allen krystallisirten Körpern vor sich, deren Gestalt dem rhomboëdrischen (hexagonalen oder 3 und 1 axigen) oder dem pyramidalen (tetragonalen oder 2 und 1 axigen) Systeme angehört, d. h. aus einem Rhomboëder oder aus einer gleichartigen vierseitigen Pyramide ableitbar ist. Der Gang der beiden gebrochenen Strahlen lässt sich durch die Annahme erklären, dass durch die Erschütterung eines jeden Punktes des Lichtäthers in diesen Körpern zwei Wellen entstehen, eine kugelförmige und eine ellipsoidische, deren Form der Umdrehung einer Ellipse um eine ihrer Hauptaxen entspricht.

Diejenigen Krystalle, bei denen der Brechungsexponent des gewöhnlichen Strahles grösser ist, als der des ungewöhnlichen Strahles, nennt man negative oder repulsive Krystalle, die aber, bei denen er kleiner ist, positive oder attractive Krystalle, weil es scheint, als ob der ungewöhnlich gebrochene Strahl von der Axe angezogen würde. Zu den positiven Krystallen gehören: Bergkrystall, Eis, Zirkon; zu den negativen: Korund,

Kalkspath, Honigstein, Grünbleierz (Pyromorphit), Scapolith, Smaragd, Turmalin, Zinkspath.

Körper, deren Krystallform zu einem der prismatischen Systeme gehört, brechen das Licht ebenfalls doppelt, aber keiner der beiden Strahlen folgt dem gewöhnlichen Brechungsgesetze. In diesen Krystallen giebt es zwei Richtungen, längs derselben keine doppelte Brechung erfolgt, und deshalb optische Axen heissen. Man nennt diese Krystalle, zum Unterschiede von den andern einaxigen, zweiaxige. Die Elasticität des Aethers verhält sich in diesen Krystallen nach drei zu einander senkrechten Richtungen (den drei Elasticitätsaxen ungleich). Die beiden optischen Axen liegen stets in einer Ebene, welche durch zwei Elasticitätsaxen gelegt ist, und die Linie, welche den spitzen Winkel der optischen Axe halbirt und Mittellinie heisst, fällt mit einer Elasticitätsaxe zusammen. Die Lage der beiden optischen Axen und mit derselben die Beschaffenheit der Doppelbrechung ist abhängig von der Farbe des Lichtes und von der Temperatur.

Die Neigung der beiden Brechungsaxen beträgt bei Salpeter 50° 20′, bei Blutlaugensalz 19° 24′, bei Lepidolith 45°, bei schwefelsaurem Eisenoxydul 90°. Die Axen des Seignettesalzes (weinsauren Kali-Natrons) sind für violettes Licht um 56°, für rothes um 76° gegen einander geneigt.

Was die Veränderung in der Lage der optischen Axen durch Temperatur anbelangt, so kann es vorkommen, dass bei einer bestimmten Temperatur zwei oder mehrere Paare dieser Axen zusammenfallen und die Körper für die betreffenden farbigen Strahlen zu den einaxigen gehören.

Der Glauberit bietet uns ein interessantes Beispiel dieser Art dar; derselbe ist nämlich bei gewöhnlicher Temperatur für violettes Licht einaxig, für die anderen Farben zweiaxig. Lässt man die Temperatur sinken, so vergrössert sich der Winkel der optischen Axen für alle Farben und die optische Axe des violetten Strahles theilt sich. Steigert man die Temperatur, so theilt sie sich gleichfalls, aber in einer auf der vorigen senkrechten Ebene. Die Axen der übrigen Farben erhalten bei zunehmender Temperatur um so spitzere Winkel, fallen nach und nach zusammen, trennen sich aber sofort wieder in der auf der vorigen senkrechten Ebene. Weit unter dem Siedepunkte des Wassers liegen die Axen sämmtlicher Farben in der neuen Ebene.

Beispiele von Krystallen mit zwei optischen Axen:

A. Natürliche. Positive: Anhydrit, Borax, Stilbit, Cölestin;
Negative: Adular, Bittersalz, Eisenvitriol, Lepidolith, Gyps, kohlensaures Natron, Salpeter, Strontianit, Zinkvitriol.

B. Künstliche. Positive: Citronensäure, Blutlaugensalz, schwefelsaures Kali, schwefelsaures Nickeloxydul, schwefelsaures Silberoxyd;
Negative: kohlensaures Ammoniak, Bernsteinsäure, essigsaures Bleioxyd, Chlorkupfer, Weinsäure, Zucker.

Seebeck hat die Beobachtung gemacht, dass durch schnelles Abkühlen stark erhitztes Glas die Eigenschaft erhält, das Licht doppelt zu brechen. Es lässt sich diese Erscheinung durch die Annahme erklären, dass das (amorphe) Glas durch Erhitzen entglast wird, d. h. in den krystallinischen Zustand übergeht.

Conische Brechung ist eine Erscheinung der Strahlenbrechung in zweiaxigen Krystallen, die von Hamilton durch theoretische Betrachtungen entdeckt und darauf von Lloyd durch das Experiment bewiesen wurden. Die Erscheinung ist eine doppelte, nach Hamilton äussere und innere Refraction genannt. Die erste besteht darin, dass ein Lichtstrahl, der so auf einen Krystall fällt, dass er nach der Richtung der Axen conischer Brechung gebrochen wird, nach seinem Austritte in das angrenzende Medium sich in unendlich viele, in der Oberfläche eines Kegels liegende Strahlen spaltet. Eine ähnliche Erscheinung zeigt sich auch im Innern des Krystalles, wenn man einen Lichtstrahl auf den Krystall in der Richtung einer der optischen Axen desselben fallen lässt. Letztere Erscheinung nennt man die innere conische Refraction. Lloyd bediente sich zu seinen Versuchen eines Arragonitkrystalles.

Die beiden Zweige der Wellenfläche eines zweiaxigen Krystalles schneiden sich in der Ebene der optischen Axe in vier Punkten, von denen je zwei diametral einander gegenüber liegen. Die Verbindungslinien dieser gegenüber stehenden Punkte sind die Richtungen der Axen conischer Brechung, da nur in ihnen das gewöhnliche und das ungewöhnliche Licht mit derselben Geschwindigkeit sich fortpflanzt.

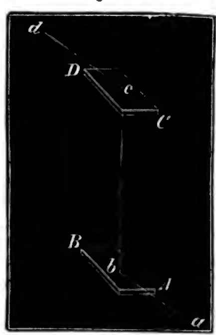
Dichroismus. Einfach brechende Mittel haben gewöhnlich, wenn sie durchsichtig sind, im durchgehenden Lichte nach allen Richtungen hin dieselbe Farbe. Doppelbrechende hingegen besitzen nach verschiedenen Richtungen hin eine verschiedene Färbung. Diese Eigenschaft der gefärbten doppeltbrechenden Krystalle, in den von gewöhnlich und ungewöhnlich gebrochenen Strahlen gebildeten Spectren Absorptionsverschiedenheiten zu zeigen, nennt man Dichroismus. In der gelblichen Varietät des Doppelspathes ist das gewöhnliche Bild längs der Axe von orangegelber, das ungewöhnliche von gelblich-weisser Farbe. Der Cordierit (Dichroit) erscheint längs der Axe der doppelten Brechung röthlich, in einer darauf senkrechten Richtung aber blau. Das dichroitische Verhalten ist oft bei den verschiedenen Individuen desselben Krystalles verschieden, wie Brewster beim Smaragd beobachtete. Durch Temperaturveränderung kann der Dichroismus

gesteigert, ja selbst erst hervorgerufen werden (einige Topasarten zeigen letztere Eigenschaft). Am wichtigsten ist die dichroitische Eigenschaft des Turmalins, in Folge der Anwendung zu Polarisationsversuchen.

Von der Polarisation des Lichtes.

Gewisse Lichtstrahlen können die Eigenthümlichkeit erlangen, nach bestimmten Richtungen hin ein verschiedenes Verhalten zu zeigen. Man nennt diese Lichtstrahlen polarisirte. Um den Unterschied zwischen gewöhnlichem und polarisirtem Lichte zu zeigen, nehme man eine glattgeschliffene Glasplatte *AB* (Fig. 294) und lasse einen Lichtstrahl *ab* unter einem Winkel von 35½ auf dieselbe fallen, so wird derselbe durch Reflexion von der Glasfläche nach der Richtung *bc* hingeworfen. Befindet sich daselbst eine zweite, mit der ersten parallele Glasplatte *CD*, so wird der auffallende Strahl nach der Richtung *cd* hingeworfen. Wird nun die zweite Glasplatte um eine Axe gedreht, die mit dem Strahle *bc* zusammenfällt, so sind beide Spiegel nicht mehr parallel, während der Winkel, den der Strahl *bc* mit der zweiten Platte macht, derselbe bleibt. Dabei wird die Intensität des von *CD* reflectirten Strahles so verringert, dass, wenn die Ebene von *CD* mit der von *AB* einen Winkel von 90° bildet, der Strahl nicht mehr reflectirt wird. Dreht man nun noch weiter, so kommt die Reflexion wieder zum Vorschein, bis sie bei 180° wieder so gross ist, wie bei 0°; jetzt aber ist die Reflexionsebene mit der der unteren Platte parallel. Dreht man nun noch weiter, so nimmt die Reflexion wieder ab bis zu 270°, wo sie ganz verschwunden ist; bei weiterer Drehung nimmt sie wieder zu, bis sie bei 0° ihre vorige Stärke erreicht hat. Sind die Reflexionsebenen beider Platten mit einander parallel, so wird der Strahl *bc*, welcher von der unteren Platte unter einem Winkel von 35½ reflectirt wurde, von der zweiten Platte vollständig zurückgeworfen, durchgelassen aber, oder, wenn die zweite Platte geschwärzt ist, absorbirt, wenn beide Ebenen der Platten sich kreuzen. Ein gewöhnlicher Lichtstrahl wird von einer spiegelnden

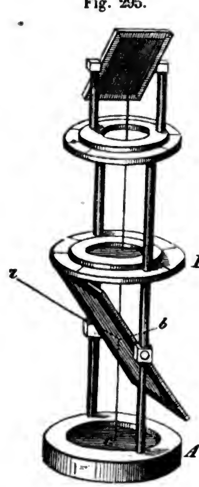
Fig. 294.



Oberfläche nach allen Richtungen hin reflectirt; man sieht demnach aus dem Vorstehenden, dass der Lichtstrahl *bc* durch die Reflexion von der unteren Glastafel andere Eigenschaften erlangt hat, welche ihn von dem gewöhnlichen Lichtstrahle unterscheiden.

Um die Polarisationserscheinungen bequem beobachten zu können, bedient man sich zweckmässig des Nörremberg'schen Polarisationsapparates (Fig. 295). In einem runden Fussgestelle *A* befinden sich am Rande zwei diametral gegenüber stehende Stäbe, zwischen denen ein Rähmchen angebracht ist, das eine Platte von geschliffenem Spiegelglase enthält. Dasselbe ist durch zwei Zapfen und um eine horizontale Axe drehbar, so dass dem Spiegel jede beliebige Lage gegeben werden kann. Gewöhnlich aber befindet sich der Spiegel in einer solchen Lage, dass seine Ebene mit der Verticalen einen Winkel von $35^{0}\,25'$ macht. Fällt bei dieser Lage ein Lichtstrahl *ab* auf den Spiegel, so geht ein Theil, der hier nicht in Betracht kommt, durch den Spiegel hindurch, ein zweiter aber wird in der Richtung *bc* nach unten reflectirt. Der Strahl *bc* ist nun polarisirt, eine durch die Ebene *ab* und *bc* gelegte verticale Ebene heisst seine Polarisationsebene. Auf dem Fussgestelle befindet sich ein auf der unteren Seite geschwärzter Spiegel, welchen der polarisirte Strahl rechtwinklig trifft; er wird also in derselben Richtung reflectirt, geht durch den Polarisationsspiegel hindurch und gelangt in verticaler Richtung zum oberen Theile des Apparates. Daselbst tragen die Stäbe einen in Grade getheilten Kreis. Der Nullpunkt dieser Theilung liegt so, dass, wenn man sich durch die Theilstriche 0 und 180^{0} eine Verticalebene gezogen denkt, diese Ebene mit der Reflexionsebene des unteren Spiegels (der Polarisationsebene) zusammenfällt. In diesem eingetheilten Ringe ist ein anderer drehbar, über welchem auf zwei Säulen ein auf der Rückseite geschwärzter Spiegel so befestigt ist, wie der untere Polarisationsspiegel. Derselbe ist um eine horizontale Axe drehbar und lässt sich so stellen, dass er mit der Verticalen einen Winkel von $32^{0}\,25'$ macht. Der drehbare Ring, auf


Fig. 295.



welchem die den oberen Spiegel tragenden Säulchen stehen, ist am Rande etwas zugeschärft, und in der Mitte der anderen Hälfte des Ringes befindet sich auf der Zuschärfung eine Linie, die als Index dient. In der Mitte *B* des Apparates befindet sich ein, wie der obere eingetheilte Kreis, in welchem ebenfalls ein Ring drehbar ist, dessen Oeffnung mit einer Glasplatte bedeckt wird, um durchsichtige Gegenstände darauf legen zu können. Stehen nun beide Spiegel parallel, steht also der Index des den schwarzen Spiegel tragenden Ringes bei 0°, so werden durch den oberen Spiegel die von unten her ihn treffenden Strahlen reflectirt und das Gesichtsfeld ist hell. Dreht man aber den oberen Spiegel, den Zerlegungsspiegel, so nimmt die Intensität des Lichtes immer mehr und mehr ab und wird = 0, sobald der Index bei 90° steht, und das Gesichtsfeld erscheint dunkel; bei 180° ist die Lichtstärke wieder gleich der bei 0°; bei 270° ist das Gesichtsfeld zum zweiten male dunkel.

Derjenige Winkel, unter welchem das Licht einfallen muss, um durch Reflexion oder Brechung polarisirt zu werden, wird Polarisationswinkel genannt. Für Glas ist derselbe = 35° 25′. Der Polarisationswinkel ist nicht nur verschieden für jede Substanz, sondern auch bei einer und derselben Substanz für jede Farbe eine andere.

Wenn man einen gewöhnlichen Lichtstrahl auf einen Kalkspathkrystall fallen lässt, so erleidet derselbe eine doppelte Brechung in zwei Strahlen. Beide Strahlen verhalten sich nach ihrem Austritt aus dem Krystall nicht mehr wie gewöhnliches Licht. Lässt man nämlich beide Lichtstrahlen, den ordinären, so wie den ausserordentlichen, in einen zweiten Doppelspathkrystall treten und giebt man diesem Rhomboëder eine solche Lage, dass sein Hauptschnitt dem des ersteren parallel ist, so erleidet der gewöhnliche Strahl im zweiten Krystalle nur die gewöhnliche Brechung, der aussergewöhnliche nur die ungewöhnliche. Dasselbe findet statt, wenn man den zweiten Krystall genau um 180° dreht. Stellt man das zweite Rhomboëder ferner so, dass beide Hauptschnitte rechtwinklig zu einander stehen, so wird der gewöhnliche Strahl ungewöhnlich, der ungewöhnliche Strahl gewöhnlich gebrochen. Bei jeder anderen Stellung der beiden Hauptschnitte zu einander wird ein jeder der beiden aus dem ersten Krystalle heraustretenden Strahlen wieder in zwei zerlegt, die im Allgemeinen von ungleicher Intensität sind. Die beiden durch Doppelbrechung gewöhnlichen Lichtes erzeugten Strahlen befinden sich im Vergleiche mit dem gewöhnlichen Lichte in einem eigenthümlichen Zustande, nach

welchem sie in periodischem Wechsel an verschiedenen Stellen verschiedene Eigenschaften zeigen; beide Strahlen stimmen im Allgemeinen mit einander überein, nur differiren die mit gleichnamigen Eigenschaften begabten Seiten des einen Strahles in Bezug auf den andern der Lage nach um 90°. Die durch doppelte Brechung entstandenen polarisirten Strahlen nennt man entgegengesetzt polarisirte.

Da das gewöhnliche (also unpolarisirte) Licht durch doppelte Brechung in zwei entgegengesetzt polarisirte Strahlen von gleicher Intensität zerfällt, so lässt sich das gewöhnliche Licht als aus zwei entgegengesetzt polarisirten Strahlen bestehend betrachten, deren Gegensatz durch die Vereinigung verschwindet.

Wendet man doppeltbrechende Substanzen zur Erzeugung von polarisirtem Lichte an, so ist zur Unterscheidung der polarisirten Lichtstrahlen von unpolarisirten die geringe Trennung beider Strahlen, des ordinären und des ausserordentlichen, oft sehr störend. Der eine Strahl kann nun entweder in Folge der natürlichen Beschaffenheit des polarisirenden Körpers, durch Absorption oder Zerstreuung wegfallen, oder er kann durch totale Reflexion beseitigt werden. Auf der Eigenschaft der Absorption beruht die Anwendung des Turmalins, auf der der Zerstreuung die des Achats. Die Beseitigung des einen Strahles durch totale Reflexion wird durch das Nicol'sche Prisma erreicht.

Der Turmalin findet sich in Krystallen, deren Grundform ein stumpfes Rhomboëder ist; die Axe des Rhomboëder läuft parallel mit der Axe der Prismen. Dieses Mineral wird in Platten von der Dicke eier halben Linie angewendet, deren Oberflächen der Hauptaxe des Prismas parallel sind. Fällt nun ein Lichtstrahl auf ein solches Turmalinplättchen, so wird der Strahl zerspalten in einen gewöhnlichen, der in der Richtung jener Axe, und in einen aussergewöhnlichen, der senkrecht gegen die Axe polarisirt ist. Letzterer geht fast ungeschwächt hindurch, während der erstere vom Turmalin absorbirt wird. Fällt nun polarisirtes Licht auf eine solche Platte, so geht, wenn die Polarisationsebene desselben senkrecht zur Axe des Krystalles ist, dasselbe so vollständig hindurch, als es die Färbung des Minerals gestattet; für Strahlen hingegen, deren Polarisationsebene parallel zur Axe ist, verhält sich die Platte wie undurchsichtig. Wenn man zwei parallel zur Hauptaxe geschnittene Turmalinplatten so über einander legt, dass die Richtung der Axen in beiden Platten parallel ist, so lassen sie gewöhnliches Licht ebenso gut durch, wie wenn beide Platten nur eine einzige ausmachten. Sobald man aber die eine Platte auf der andern herum-

dreht, so nimmt das durchgehende Licht immer mehr und mehr an Intensität ab, bis es endlich gänzlich verschwindet, sobald die Axen beider Platten rechtwinklig zu einander stehen. Betrachtet man ein Object durch ein Turmalinprisma, dessen Kante parallel zur Axe des Krystalles und dessen brechender Winkel sehr klein ist, so erscheint der Gegenstand doppelt, wenn das Licht durch den dünnsten Theil des Prismas geht; das gewöhnliche Bild wird jedoch immer dunkler, je dicker die Turmalinschicht ist, und verschwindet bei hinreichender Dicke gänzlich. Durch eine dicke Turmalinplatte erhält man also nur ungewöhnlich gebrochene Strahlen, deren Polarisationsebene senkrecht gegen die Krystallisationsebene der Platte ist. Um die Versuche bequem anstellen zu können, bedient man sich sehr zweckmässig der sogenannten Turmalinzange (Fig. 296), einer Zange aus Draht, welche an ihren beiden Enden Fassungen trägt, deren jede ein in ihrer Ebene drehbares, zur Krystallaxe parallel geschnittenes Turmalinplättchen enthält. Man benutzt am besten die braunen und dunkelgrünen Turmaline. Der zu untersuchende Körper wird zwischen die Turmalinplättchen gebracht und das Ganze dicht an das Auge gehalten.

Fig. 296.

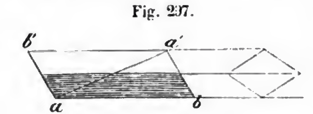


Der Achat verhält sich dem Turmalin ähnlich; eine Achatplatte nämlich, die senkrecht zu den natürlichen Schichten geschnitten ist, polarisirt gewöhnliches Licht so, dass die Polarisationsebene parallel mit den Schichten ist; ein Strahl, der senkrecht gegen dieselben polarisirt ist, wird von der Platte nicht durchgelassen.

Das Nicol'sche Prisma wird hauptsächlich angewendet, um Gegenstände, die sich unter dem Wasser befinden, deutlicher zu erkennen. Da die Oberfläche des Wassers viel Licht reflectirt, so sind die aus dem Wasser hervortretenden Strahlen nur im Stande, einen schwachen Eindruck im Auge hervorbringen. Das vom Wasser zurückgeworfene Licht ist zum grössten Theil polarisirt, wenn das auf die Oberfläche des Wassers fallende Licht mit derselben einen Winkel von 37⁰ macht. Wenn man nun durch das Nicol'sche Prisma das Object betrachtet, so kann das Prisma so gedreht werden, dass nur die aus dem Wasser kommenden Strahlen durchgelassen, während die vom Wasser reflectirten und polarisirten aufgefangen werden. Das Nicol'sche Prisma besteht im Wesentlichen aus einem Kalkspathrhomboëder, das nach einer bestimmten Richtung in zwei Theile getheilt ist, die durch Terpentin oder Canadabalsam zusammengekittet sind. Man erhält ein

solches, wenn man die spitzen Winkel eines Kalkspathrhomboëders zu 68° zusammenschleift, die neun Flächen polirt, das Rhomboëder dann durch einen Schnitt, welchen man durch die beiden stumpfen Körperwinkel und zwei spitze Kantenwinkel führt, in zwei gleiche Theile zerlegt und die beiden polirten Schnittflächen mit Canadabalsam vereinigt. Wenn nun auf die Fläche $b'a'$ (Fig. 297) in der Richtung der Kanten Strahlen fallen, so erleiden die stärker brechbaren gewöhnlichen Strahlen an der Balsamschicht aa', deren Brechungsexponent $= 1{,}54$ ist, schon die totale Reflexion, während die minder brechbaren ungewöhnlichen Strahlen durch die Fläche $a'b$ gelangen und dort austreten. Der Parallelismus der beiden Flächen ab' und $a'b$ bewirkt die Achromatisirung des durchgehenden Lichtes.

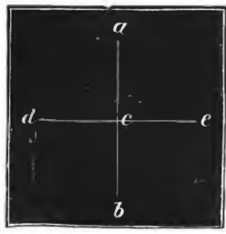
Fig. 297.



Das Rochon'sche Prisma besteht aus zwei gleichen geraden Prismen mit rechtwinklig dreiseitigen Grundflächen, die aus Kalkspath oder einer andern doppelbrechenden Substanz mit einer optischen Axe, so geschnitten sind, dass in dem einen Prisma eine Kathetenfläche senkrecht gegen die Axe steht, in dem andern beide Kathetenflächen zur Axe parallel liegen. An der Hypothenusenfläche sind beide zu einem rechtwinkligen Parallelopiped verbunden. Ein solches Prisma hat zum Zweck, die beiden durch doppelte Brechung entstehenden Bilder weiter auseinander zu treiben, als es bei einem einzigen Stücke von gleicher Dicke aus derselben Substanz möglich wäre.

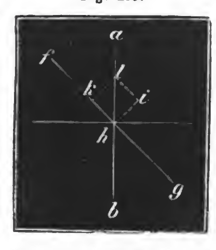
Theorie der Polarisation durch Reflexion und doppelte Brechung. Von den bisher genannten Erscheinungen vermag nur die Wellentheorie eine genügende Erklärung zu geben. Dieser Theorie zufolge schwingen beim polarisirten Lichte die Aethertheilchen in einer Richtung, während bei einem gewöhnlichen Lichtstrahle sich die Schwingungen nach allen Richtungen verbreiten können. Die Schwingungen der Aethertheilchen eines polarisirten Lichtstrahles erfolgen in einer Richtung, die auf der des Strahles senkrecht steht. c (Fig. 298) sei die Projection eines polarisirten Lichtstrahles, der sich rechtwinklig zur Ebene des Papiers fortpflanzt,

Fig. 298.



ab die Projection der Ebene der Schwingungen des Strahles, so ist die auf *ab* Senkrechte *de* die Projection der Polarisationsebene des Strahles. Wenn nun ein durch Reflexion polarisirter Strahl mit der Schwingungsebene *ab* auf den oberen Theil des Polarisationsapparates fällt, so wird er reflectirt, wenn die Reflexionsebene des Spiegels senkrecht auf der Schwingungsebene des Strahles steht. Es sind jetzt beide Spiegel parallel, ebenso die Schwingungen des Strahles zur spiegelnden Oberfläche. Wird nun der obere Spiegel gedreht, so kommt die Schwingungsebene des von dem Spiegel zurückgeworfenen Strahles in eine andere Lage *fg* (Fig. 299). Man stelle sich nun vor, dass dieser Strahl in zwei andere zerlegt werde, so dass die Schwingungen des einen Strahles in der Ebene *fg*, die des anderen in einer darauf senkrechten Richtung stattfinden. Ist *hl* die Schwingungsweite des Strahles, der in dem vorerwähnten Beispiele zurückgeworfen wurde, so ist, wenn die Schwingungsebene die Lage *fg* hat, *hk* die Intensität der Schwingung des reflectirten Strahles. *hk* ist aber jedenfalls kleiner als *hl*; die Intensität der Schwingung des reflectirten Strahles muss demnach in dem Masse kleiner werden, als der Winkel, den die Ebenen *ab* und *fg* mit einander machen, sich einem rechten nähert. Ist ein rechter Winkel erreicht, so wird der Strahl nicht mehr reflectirt. Bei einem durchgehenden Strahle findet das Umgekehrte statt; die Schwingungsintensität *hi* des durch den ebenen Spiegel hindurchgehenden Strahles wird um so grösser, je mehr der Winkel sich einem rechten nähert.

Fig. 299.



Die Erklärung der Polarisationserscheinungen in doppeltbrechenden Substanzen anbelangend, so nimmt die Wellentheorie (vergl. S. 331) an, dass die Elasticität des Lichtäthers in den doppeltbrechenden Substanzen nicht nach allen Richtungen dieselbe sei. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des gewöhnlichen Strahles ist unabhängig von der Richtung gegen die Axe; wir müssen deshalb annehmen, dass die Schwingungen desselben rechtwinklig zur Axe stattfinden; da seine Polarisationsebene durch die Axe geht, so müssen die Schwingungen einmal senkrecht zur Richtung des Strahles, und einmal senkrecht zur Polarisationsebene angenommen werden. Im ausserordentlichen Strahle erfolgen die Schwingungen in der Richtung der Ebene, die durch ihn und die Axe gelegt ist,

d. h. senkrecht gegen seine Polarisationsebene. Wenn ein Strahl den Krystall in der Richtung der Axe durchläuft, so stehen seine Transversalschwingungen senkrecht auf der Axe, und beide Strahlen haben gleiche Geschwindigkeit, da die Elasticität des Aethers nach allen auf der Axe senkrechten Richtungen die nämliche ist. Verschieden werden die Geschwindigkeiten, wenn die Schwingungen des Aethers nicht mehr senkrecht gegen die Axe erfolgen, und bestimmen sich nach der durch die Richtungen gegebenen Elasticitäten.

Die Farben doppeltbrechender Krystallplatten im polarisirten Lichte bilden eine Classe von Erscheinungen, welche die doppeltbrechende Eigenschaft der Körper weit auffallender zeigt, als die Spaltung in zwei Strahlen, die nur bei doppelter Brechung bemerkbar sind. Diese Erscheinungen sind für den Krystallographen und Mineralogen ein wichtiges Hülfsmittel, Krystallsysteme und Mineralspecien zu bestimmen. Dieselben sind so mannigfaltig, dass hier nur die wichtigsten angegeben werden können.

Wenn man weisses polarisirtes Licht durch ein dünnes Plättchen einer doppeltbrechenden Substanz, wie Kalkspath, Gyps, Glimmer u. s. w., und sodann auf einen Körper leitet, welcher die Fähigkeit hat, die entgegengesetzt polarisirten Componenten des Lichtes von einander zu sondern, z. B. durch ein Kalkspathprisma, ein Nicol'sches Prisma, eines Systemes paralleler Glasplatten u. s. w., so erscheint bei gewisser Lage das Plättchen gefärbt. Die Farbe ist von der Natur und der Dicke des Plättchens abhängig. Ist das Plättchen dick, so nimmt man keine Färbung wahr. Wenn man das Plättchen um das einfallende Licht dreht, so wird nicht die Beschaffenheit der Farbe, wohl aber ihre Intensität verändert. Bei vier Lagen, nämlich da, wo der Hauptschnitt des Plättchens mit der ursprünglichen Polarisationsebene einen Winkel von 45^0 macht, ist die Intensität am stärkten; bei einer andern Lage, wo der Winkel 0^0 oder 90^0, ist sie gleich Null. Wendet man zur Betrachtung des Plättchens ein System paraller Glastafeln an, so sind die Farben des Plättchens im durchgehenden Lichte stets complementär zu dem im reflectirten. Benutzt man anstatt der Gläser einen Doppelspathkrystall, so nimmt man zwei gefärbte Bilder wahr, deren Farben bei der Drehung des Hauptschnittes um 90^0 in die complementären übergehen, und sich bei ihrer Drehung fortwährend zu Weiss ergänzen.

Diese Farbenerscheinungen lassen sich daraus erklären, dass der zur Analyse des aus dem Krystallplättchen heraustretenden

Strahles benutzte Apparat jeden der beiden entgegengesetzt polarisirten Bestandtheile des Strahles in zwei Componenten zerlegt, von denen die eine in der Hauptschnitts- oder Reflexionsebene des Apparates, die andere in einer gegen diese Ebene senkrechten Richtung schwingt. Deshalb interferirt nach jeder dieser Richtungen eine Componente des einen Strahles mit einer Componente des anderen Strahles, und es bildet sich für jedes Paar ein Strahl, dessen Intensität für jede Wellenlänge verschieden ist; das Mischungsverhältniss der Bestandtheile des weissen Lichtes wird dadurch abgeändert, und es erscheint eine bestimmte Farbe.

Wenn auf ein Plättchen einer doppeltbrechenden Substanz polarisirtes Licht unter verschiedenen Winkeln fällt, und man leitet dasselbe mit Hülfe eines zweiten Polarisationsapparates ins Auge, oder bei gehöriger Lichtintensität auf einen Schirm in einem verfinsterten Zimmer, so zeigen sich regelmässig angeordnete Systeme isochromatischer (gleichfarbiger) Linien. Wenn sich ein Doppelspathplättchen, das senkrecht zu seiner Axe geschliffen ist, zwischen zwei der Axe parallel geschnittenen Turmalinplättchen befindet, so haben die entstehenden Figuren folgendes Aussehen (Fig. 300). Beide bestehen aus concentrischen farbigen Ringen, die durch ein Kreuz unterbrochen sind. Das Kreuz erscheint schwarz, wenn die Axen der Turmalinplättchens senkrecht gegen einander, weiss dagegen, wenn sie zu einander parallel stehen. — Die Durchmesser der Ringe verhalten sich ungekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Dicken der Plättchen. Eine Unregelmässigkeit in der krystallinischen Structur nimmt man durch Verzerrung der Ringe wahr. Plättchen zweiaxiger Krystalle, welche zu einer ihrer Axen oder zur Halbirungslinie beider senkrecht geschliffen sind, zeigen andere Ringe. So zeigen gewisse Krystallplättchen, deren optische Axen einen unbedeutenden Winkel mit einander machen, folgende Figuren

Fig. 300.

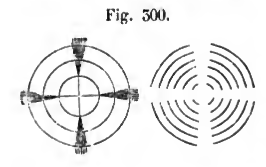
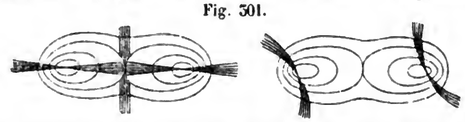


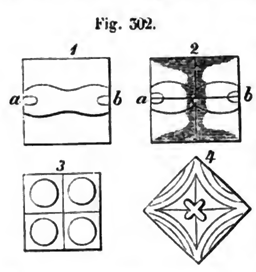
Fig. 301.



(Fig. 301). Diese Ringe werden durch Curven gebildet, welche man Lemniscaten nennt.

Die Elasticitätsveränderungen, welche ein Körper, z. B. Glas, durch ungleichmässige Erhitzung oder durch Druck erleidet, giebt sich auch in dem Verhalten des Körpers gegen das Licht zu erkennen. Die auf denselben fallenden Strahlen werden doppelt gebrochen, und beide entstehende Strahlen sind senkrecht auf einander polarisirt; die Gesetze dieser doppelten Brechung weichen in Folge der nach anderen Gesetzen sich richtenden Elasticitätsverhältnisse von denen der Krystalle wesentlich ab. Unter den Fällen, in denen solche Elasticitätsdifferenzen Farbenfiguren hervorrufen, seien folgende erwähnt. Ein Glaswürfel, in zwei gegenüberliegenden Punkten *ab* (Fig. 302; 1 und 2) gepresst, erzeugt bei senkrechter Lage der beiden Polarisationsebenen, je nachdem die erste Polarisationsebene parallel mit *ab* oder 45° gegen *ab* geneigt ist, die Figuren 1 und 2. Anders sind die Erscheinungen in erhitzten Glasstücken, die schnell abgekühlt worden sind; ein quadratisches Glasstück zeigt z. B. folgende Figuren (Fig. 302; 3 und 4), je nachdem die beiden Polarisationsebenen mit den Seiten die Winkel 0° und 90° bilden (3), oder diese Winkel 45° betragen (4). Man nennt diese letzteren Figuren Seebeck'sche Figuren.

Fig. 302.



Circulare und elliptische Polarisation. In einem gewöhnlich polarisirten Lichtstrahle erfolgen die Schwingungen senkrecht gegen die Richtung des Strahles, und senkrecht gegen die Polarisationsebene. Man nennt diese Polarisation, die in dem Vorstehenden betrachtet worden ist, die geradlinige Polarisation. Gehen zwei Strahlen, die rechtwinklig zu einander polarisirt sind, nach einer und derselben Richtung fort, und ist der eine dem andern um $\frac{1}{4}$ Wellenlänge vorangeeilt, so entsteht durch das Zusammenwirken beider ein Strahl, welcher durch kreisförmige Schwingungen fortgepflanzt wird. Die Kreisbewegung, welche das Aethertheilchen um seine Gleichgewichtslage macht, kann entweder von rechts nach links, oder umgekehrt von links nach rechts erfolgen. Hiernach unterscheidet man zwischen rechts und links polarisirtem Lichte.

Gehen zwei Strahlen, die rechtwinklig zu einander polarisirt sind, nach gleichen Richtungen fort, und ist der Unterschied ihrer Wege nicht $\frac{1}{4}$ Wellenlänge, sondern ein Theil dieses Viertels, so setzen sie sich zu einer elliptischen Schwingung zusammen.

Vollständig polarisirte Kreisstrahlen liefert das Fresnel'sche Parallelopiped. Wenn polarisirtes Licht an der Grenzfläche eines einfach brechenden Mediums reflectirt wird, so ändert sich die Lage der Polarisationsebene. Die Polarisationsebene des reflectirten Strahles ist abhängig von der Lage der Polarisationsebene des einfallenden Strahles gegen die Reflexionsebene, vom Einfallswinkel, vom Brechungswinkel oder von der Beschaffenheit der an einander grenzenden Mittel. Fresnel's Versuche zeigen, dass, wenn die Reflection des einfallenden Lichtes an der Rückseite eines durchsichtigen Körpers in eine Totalreflexion übergeht, der Strahl so verändert wird, wie es die Circularpolarisation verlangt. Fresnel bediente sich zu seinen Versuchen eines Parallelogrammes aus Crownglas mit dem Brechungrexponenten 1,5; die Winkel *B D* (Fig. 303) waren gleich 54° 5′. Der senkrecht auf die Fläche *A B* einfallende Strahl *P Q* erleidet bei *Q* und *R* die totale Reflexion und tritt senkrecht gegen die Fläche *C D* wieder heraus. Dieser Strahl zeigt weder die Eigenschaften des geradlinig polarisirten, noch die des gewöhnlichen Lichtes, wenn der einfallende Strahl unter 45° gegen die Zurückwerfungsebene polarisirt war. Betrachtet man denselben durch einen Doppelspath, so zeigt er bei jeder Stellung zwei Bilder von gleicher Intensität, wie gewöhnliches Licht; erleidet er zwei neue, den vorigen ganz gleiche Reflexionen, so wird er wieder zu einem gewöhnlich polarisirten Strahle, was bei dem gewöhnlichen Lichte nicht der Fall ist. Dieser austretende Strahl ist demnach anzusehen als zusammengesetzt aus zwei senkrecht zu einander polarisirten Strahlen, die um ¼ Wellenlänge von einander abstehen, also als ein kreisförmig polarisirter Strahl.

Fig. 303.



Geradlinig polarisirtes Licht geht, wenn es von einer polirten Metallfläche reflectirt wird, in die elliptische Polarisation über.

Der Bergkrystall verhält sich gegen Licht, das senkrecht gegen die Hauptaxe einfällt, wie jeder andere positive einaxige Krystall; das Licht zerlegt sich in zwei senkrecht gegen einander geradlinig polarisirte Strahlen. Je mehr sich aber die Strahlen der Axenrichtung nähern, desto stärker elliptisch wird ihre Polarisation, und in der Richtung der Axe durchdringen den Bergkrystall zwei kreisförmig polarisirte Strahlen mit ungleicher Geschwindigkeit.

Geht daher ein geradlinig polarisirter, homogener Lichtstrahl durch eine Bergkrystallplatte, die senkrecht gegen die Axe geschnitten ist, so treten die beiden circularen Componenten, mit einer von der Dicke der Platte abhängenden Phasendifferenz heraus und setzen sich zu einem polarisirten Strahle zusammen, dessen Polarisationsebene gegen jene des eintretenden um einen gewissen Winkel abgelenkt erscheint. Diese Ablenkung wird die Drehung der Polarisationsebene genannt; sie afficirt die verschiedenen farbigen Bestandtheile des Lichtes verschieden und verursacht dadurch Farbenerscheinungen. Wenn man ein Bergkrystallplättchen auf das Tischchen des Polarisationsapparates legt und den oberen Spiegel dreht, so folgen die Farbenveränderungen in der Ordnung der prismatischen Farben auf einander. Man hat Bergkrystallplatten, bei welchen man den Zerlegungsspiegel nach der rechten Seite hin, also in der Richtung von 0° nach 90° drehen muss: bei anderen Krystallen muss man den Spiegel in der entgegengesetzten Richtung drehen, damit die Farben in derselben Ordnung auf einander folgen. Man unterscheidet deshalb rechts- und links drehende Bergkrystallplatten.

Schon an der Lage der tetardoëdrischen Plagiëderflächen, die an den Rhomboëderflächen der Bergkrystalle vorkommen, lässt sich erkennen, ob der Krystall ein links- oder ein rechtsdrehender ist.

Legt man zwei gleich dicke Bergkrystallscheiben über einander, von denen die eine die Polarisationsebene des Strahles rechts, die andere links dreht, so bemerkt man eine sehr schöne Farbenerscheinung, welche die Form von Fig. 304 hat.

Fig. 304.

Der Bergkrystall ist der einzige feste Körper, an welchem man die Erscheinungen der Circularpolarisation beobachtet hat. Biot hat aber diese Eigenschaft bei vielen Lösungen organischer Körper entdeckt, und in der neuesten Zeit haben hauptsächlich Biot, Deville, Capitain, Soubeiran, Mitscherlich und Pasteur Versuche über das Rotationsvermögen verschiedener organischer Flüssigkeiten angestellt.

Flüssigkeiten, welche die Polarisationsebene nach links drehen, sind: Albumin, Terpentinöl, Kirschlorbeerwasser, Lösungen von Gummi, Inulin und Fruchtzucker; rechts drehen Citronensäure, Dextrin, Lösungen von krystallinischem Zucker, von Campher und von Weinsäure.

Das Vermögen, die Polarisationsebene zu drehen, hat sich bis jetzt, ausser beim Bergkrystall, nur bei Körpern organischen Ursprungs gefunden, und zwar nur bei solchen, die natürlich vorkommen; obgleich das Rotationsvermögen eines organischen Körpers in das Zersetzungsproduct desselben überzugehen fähig ist, so überträgt sich das Rotationsvermögen des Amygdalins in die Mandelsäure, das des Camphers in die Camphersäure.

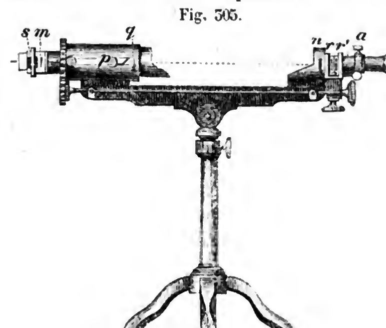
Die Drehung der Polarisationsebene ist stets der Dicke der vom Lichtstrahl durchdrungenen Schicht proportional.

Die Drehung der Polarisationsebenen der verschiedenen Farbenstrahlen ist ziemlich genau dem Quadrate der Wellenlängen umgekehrt proportional.

Die Drehung der Polarisationsebene ist für die Technologie und die analytische Chemie neuerdings ein wichtiges Mittel der Analyse geworden; diese Drehung kann nämlich benutzt werden, den Gehalt an krystallisirbarem Zucker im Safte des Zuckerrohres oder der Runkelrübe, im Syrup und in der Melasse, im diabetischen Urin und in der Milch zu bestimmen, da dass Rotationsvermögen einer Zuckerlösung mit ihrer Concentration zunimmt.

Geht ein Lichtstrahl unter den erforderlichen Bedingungen durch eine Quarzplatte des Polarisationsapparates, so findet die Polarisation desselben unter gewissen Farbenerscheinungen statt; bringt man eine Säule von Zuckerlösung dazwischen, so zeigt diese einen gewissen Einfluss auf die Färbung, der um so grösser ist, je mehr sie Zucker enthält. Die Grösse dieses Einflusses wird nun gemessen durch die Dicke, welche man der Quarzplatte geben muss, um ihn zu compensiren. Zu diesem Zwecke besteht die Quarzplatte aus zwei keilförmigen Theilen, die, über einander geschoben, eine grössere oder geringere Totaldicke bilden. Der Soleil'sche saccharimetrische Apparat ist folgendermassen zusammengesetzt: Das Licht, bei welchem man beobachtet, und welches Tages- oder Lampenlicht sein kann, tritt durch eine kreisförmige Oeffnung ein und trifft zunächst den pola-

Fig. 305.



risirenden Apparat, der aus dem Nikoel oder dem achromatisirten Kalkspathprisma p (Fig. 305) besteht; das polarisirte Licht geht darauf durch eine senkrecht zur Axe geschnittene Bergkrystallplatte q, die, durch die Mitte des Gesichtsfeldes getheilt, zur Hälfte aus rechts-, zur Hälfte aus linksdrehendem Bergkrystalle besteht. Ihre Dicke wählte Soleil entweder zu 3,75 oder 7,5 Millimetern. Weiter geht das Licht durch eine senkrecht zur Axe geschnittene Bergkrystallaxe n, sodann durch zwei prismatische Bergkrystallplatten r und r' von gleichem, dem der vorigen Platte entgegengesetzten Drehvermögen und mit entgegengesetzt liegenden brechenden Winkeln. Beide Prismen können mittelst eines Triebwerkes so über einander geschoben werden, dass sie eine Platte von veränderlicher Dicke darstellen. Das eine Prisma trägt einen Massstab, das andere einen Nonius, so dass die Stärke der Verschiebung genau gemessen werden kann.

Angenommen, man bringe eine farblose Lösung einer zu untersuchenden optisch wirksamen Flüssigkeit, z. B. in einer 20 Centimeter hohen Schicht, in den horizontalen Apparat zwischen q und n, so unterstützt das Drehungsvermögen dieser Flüssigkeit die Drehung der Polarisationsebene der einen Hälfte des Doppelspaths q und schwächt die Wirkung der andern Hälfte. Beide Theile zeigen sich deshalb verschieden gefärbt. Um Gleichheit der Färbung herzustellen, muss man das Triebwerk der Prismen $r\,r'$ in Bewegung setzen, um durch Veränderung in der Dicke dieser Platte die Wirkung der flüssigen Säule zu compensiren. Die Zuckerlösungen werden bei diesen Proben mit einer Normallösung verglichen, welche auf 100 Gramme 16,471 Gr. Zucker enthält und eine 20 Centimeter hohe Schicht bildet.

Schliesslich sei noch erwähnt, dass Pasteur den Satz aufgestellt hat, dass das Vorkommen von entgegengesetzten und nicht congruenten hemiëdrischen Formen und entgegengesetztes optisches Drehvermögen stets mit einander verbunden sein möchten, was allerdings bei der Weinsäure (Dextroracemsäure) und einer andern Säure (Laevoracemsäure), welche zusammengemischt die optisch neutrale Traubensäure bilden, bestätigt wurde. Dass der Satz übrigens nicht allgemein ist, beweisen die aus dem Zinkvitriol und dem Bittersalze krystallisirenden Hemiëdrien.

Von den chemischen Wirkungen des Lichtes.

Das Licht ist im Stande Wirkungen hervorzubringen, welche jeden Zweifel darüber verscheuchen, dass es nicht nur die materiellen Objecte sichtbar macht, sondern auch noch auf eine andere Weise in das Walten der Natur eingreift. Man bezeichnet diese

letzteren Wirkungen mit dem Namen der chemischen; die Ausdehnung derselben und ihre eigentliche Bedeutung sind noch nicht auf die gehörige Weise erkannt worden.

Das normale Wachsthum der Pflanze, das hauptsächlich durch eine Assimilation von Kohlenstoff unter Abscheidung von Sauerstoff bedingt ist, geht nur unter dem Einflusse des Lichtes vor sich. Das Verbleichen (Verschiessen) vieler Farbstoffe (des Safflors, der Curcuma, des Waus, des Campecheholzes u. s. w.), das selbst in luftleeren und zugeschmolzenen gläsernen Röhren vor sich geht, ist ebenfalls ein Beweis für die chemische Einwirkung des Lichtes. Sehr auffallend ist ferner der Antheil, den das Licht an der Einleitung chemischer Processe nimmt.

Chlorgas und Wasserstoffgas verbinden sich bei gewöhnlicher Temperatur im Dunklen nicht, im Sonnenlichte aber mit Explosion. Durch rothes Glas oder durch eine Lösung von zweifach chromsaurem Kali fallendes Licht ist ohne Wirkung auf das Gasgemenge; violettes Licht verhält sich wie weisses. Eisenchlorid, in Aether gelöst, wird durch violettes Licht reducirt; eben so verhält sich Quecksilberchlorid; eine ähnliche Lösung von Goldchlorid wird gänzlich reducirt, am schnellsten geschieht dies durch die blauen Strahlen. Salpetersäure zerfällt durch die Einwirkung namentlich des blauen Lichtes in Sauerstoff und salpetrige Säure. Eigenthümlich ist die Wirkung des Lichtes auf im Wasser suspendirte Jodstärke, die sowohl durch weisses Licht, als durch gelbe und grüne Strahlen unter Bildung von Jodwasserstoffsäure entfärbt wird; die rothen und blauen Strahlen wirken nur wenig, die violetten gar nicht mehr ein. Trotz dieses eigenthümlichen Verhaltens lässt sich annehmen, dass gewöhnlich die violetten Strahlen die wirksamen, die gelben die unwirksamen sind.

Eine der gegen das Licht empfindlichsten Substanzen, wenn nicht die allerempfindlichste, ist die Jodbleistärke, die man durch Zusammenreiben im Dunklen von frischgefälltem Jodblei mit Stärkekleister erhält, bis diese hochgelb gefärbt erscheint. Am directen Lichte schwärzt sich dieses Gemenge fast augenblich in Folge einer Ausscheidung von Jod, sehr schnell ebenfalls im matten, diffusen Lichte.

Die chemische Wirkung des Sonnenspectrums zeigt sich noch ausserhalb des violetten Endes sehr energisch, weshalb man veranlasst worden ist, besondere chemische Strahlen im Sonnenlichte anzunehmen, die brechbarer als die violetten Strahlen sind und also in kürzerer Zeit schwingen.

In der neuesten Zeit ist es gelungen, ein chromatisches Bild des Sonnenspectrums zu fixiren (Becquerel).

Die empfindliche Schicht, welche dazu benutzt wurde, ist eine durch Chlorwasserdunst weisslich angelaufene Silberplatte, welche man auch durch Eintauchen derselben in Salzsäure und Kupferchlorid erhalten kann, wenn man die Platte zugleich als positive Elektrode eines galvanischen Stromes benutzt. Am schönsten treten Roth, Grün und Blau auf, Gelb und Orange sind am wenigsten deutlich.

Die Verbreitung der chemischen Strahlen unterliegt denselben Gesetzen, wie die der Lichtstrahlen. Ganze Theile des Spectrums können durch eingeschaltete absorbirende Mittel unwirksam gemacht werden. Eine Schicht von schwefelsaurem Chinin von 1—2 Centimeter Dicke hält die chemische Wirkung aller Strahlen auf Chlorsilber auf, welche jenseits der Linie *H* im Violett des Farbenspectrums liegen. Man hat ferner bewiesen, dass mit der Interferenz der Lichtstrahlen die Aufhebung der chemischen Wirkung Hand in Hand geht.

Chlorsilber, das ursprünglich weiss ist, wird durch Sonnenlicht, durch das Licht weissglühender Kohle, durch Drummond's Kohlenlicht anfangs violett, dann schwarz, indem ein Theil des Chlors abgeschieden wird. Aehnlich verhalten sich die Verbindungen des Silbers mit dem Jod und Brom.

Becquerel hat in der neuesten Zeit den elektrischen Strom benutzt, um die chemischen Wirkungen des Lichtes zu erforschen, indem er zwei mit Jodsilber überzogene Silberplatten, die mittelst eines Drahtes, in welchen ein Multiplicator eingeschaltet ist, in Verbindung stehen, in reines Wasser taucht und nur eine der beiden Platten beleuchtete. Es unterliegt keinem Zweifel, dass bei Beseitigung aller störenden Einflüsse der auf diese Weise durch Einwirkung des Lichtes auf eine der Platten entstehende Strom ein sehr geeignetes Mittel werden kann, über diesen noch so wenig bekannten Gegenstand Aufschluss zu erhalten.

Lichtbilder, Photographien, Daguerréotype. Die Veränderungen, welche die Verbindungen des Silbers mit Chlor, Jod und Brom durch die Einwirkung des Lichtes erleiden, haben zu der Anwendung Veranlassung gegeben, die Bilder der Camera obscura zu fixiren und auf diese Weise getreue Abbildungen beliebiger Gegenstände zu erhalten. Von den verschiedenen zu diesem Zwecke angewendeten Methoden gebührt dem von Daguerre entdeckten Verfahren der Vorzug, welchem man den Namen Daguerréotypie beigelegt hat. Der Vorgang ist in der Kürze folgender. Eine versilberte Kupferplatte wird Dämpfen von Jod ausgesetzt; dadurch entsteht auf der Oberfläche ein dünner Ueberzug

von Jodsilber. Bringt man nun die jodirte Platte in die Camera obscura (s. Seite 385), so entsteht auf derselben nach einiger Zeit ein noch unsichtbares Bild, indem das Jodsilber auf den von den Lichtstrahlen getroffenen Stellen zum Theil reducirt wird. Das Bild erscheint, wenn man die Platte Quecksilberdämpfen aussetzt. Das Quecksilber verbindet sich nun mit dem reducirten Silber, kann aber auf das Jodsilber nicht einwirken. Das Bild des Daguerréotypes wird demnach durch ein Amalgam von Quecksilber und Silber hervorgebracht. Ist das Bild hinlänglich ausgeprägt, so muss es von den noch vorhandenen Jodverbindungen befreit und für fernere Lichteinwirkungen unempfindlich gemacht werden, was durch Einlegen der Platte in eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron geschieht.

Das Verfahren bei der Daguerréotypie besteht in sechs Operationen, nämlich in

1) dem Poliren der Platte,
2) der Jodirung,
3) dem Einbringen der Platte in die Camera obscura,
4) der Fixirung der Bilder,
5) der Entfernung des Jodüberzuges,
6) der Vergoldung des Bildes und Trocknung auf der Platte.

Das Polirmittel der Platten ist englisches Roth (feingeriebenes Eisenoxyd), das mittelst eines Beutels auf die Platte gestreut und mit Baumwolle, die mit Oel befeuchtet ist, umher gerieben wird. Die Jodirung der mit trockener Baumwolle abgeriebenen Platte geht in einem viereckigen Kasten vor sich, in welchem sich ein nach unten sich verjüngender Einsatz befindet, auf dessen Boden Jod in einer Schale steht. Man lässt die Joddämpfe so lange einwirken, bis die Platte einen goldgelben Anflug angenommen hat. Anstatt des Jodes wendet man auch häufig Bromkalk oder ein Gemenge desselben mit Chlorkalk an, um die Platte mit einer sehr empfindlichen Schicht von Brom-Chlorsilber zu überziehen. Die jodirte Platte wird darauf impressionirt, d. h. man bringt sie in die Camera obscura (s. S. 385). Die Fixirung geschieht durch Quecksilberdämpfe, welchen man die Platte aussetzt. Dieselbe Operation geschieht in einem Kasten, auf dessen Boden sich ein Gefäss mit bis auf 60° erhitztem Quecksilber befindet. Unmittelbar nach dem Fixiren erscheint die jodirte Platte nicht verändert, und es ist noch kein Bild darauf wahrzunehmen. Nachdem die Platte durch eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron gezogen worden ist, sind die überflüssigen Jodverbindungen entfernt worden, und es braucht das Bild von nun an nicht mehr gegen das Licht geschützt zu werden. Um das Bild nicht nur weniger abwischbar, sondern auch kräftiger und schöner zu machen, wird es vergoldet.

Lichtbilder auf Papier. Anstatt der plattirten Platte wurde zuerst, auf Talbot's Vorschlag, präparirtes Papier angewendet. Bisher ist es nicht gelungen, direct schöne, positive Bilder, d. h. solche, auf denen die Schatten dunkel und die Lichter hell erscheinen, zu erzeugen, sondern man ist gezwungen, erst negative Bilder darzustellen, d. h. solche, auf denen die dunkelsten

Stellen weiss, die stärksten Lichter ganz schwarz und undurchsichtig hervortreten. Erst mit Hülfe dieser negativen Bilder, indem man sie auf ein zweites präparirtes Bild legt, erhält man das richtige oder positive Bild.

Der chemischen Wirkung sehr nahe stehend ist diejenige Wirkung des Lichtes, welche das Licht auf viele natürliche und künstliche Verbindungen ausübt. Die dadurch hervorgerufenen Erscheinungen bezeichnet man mit dem Namen Phosphorescenz. Körper, welche die Eigenschaft zeigen, einige Zeit dem Sonnenlicht ausgesetzt, nachher im Dunklen zu leuchten, nennt man Leuchtsteine oder Phosphore durch Bestrahlung oder Insolation (Lichtsauger, Lichtmagnete).

Zu Leuchtsteinen eignen sich manche Arten des Diamantes, der Bononische Leuchtstein, Canton's Phosphor, das Schwefelstrontium, der Strontianit, der Marmor; es phosphoresciren nach der Bestrahlung, obschon minder stark, krystall. Borsäure, schwefelsaures Kali und viele andere Salze, Zucker, gebleichtes Wachs, Perlen, Eis u. s. w. Alle diese Körper absorbiren bei niedriger Temperatur mehr Licht, als bei höherer; sie werden auch leuchtend in allen Modificationen des Lichtes, am meisten jedoch im violetten, am wenigsten im rothen Strahle. Aehnlich wie das Sonnenlicht wirkt auch der elektrische Funke erregend auf die Leuchtsteine ein. Auch durch Erwärmung kann das Phosphoresciren bei den meisten Leuchtsteinen hervorgerufen werden; einzelne Substanzen sogar, wie z. B. das schwefelsaure Chinin, erlangen die Eigenschaft der Phosphorescenz nicht durch Sonnenlicht, sondern nur durch Erwärmung.

Moser'sche Bilder. Es giebt eine Reihe interessanter Erscheinungen, die durch die Wirkung eines unsichtbaren Lichtes entstanden zu sein scheinen, das nicht im Stande ist, unser Sehorgan zu afficiren, aber doch seine Existenz durch gewisse Veränderungen zu erkennen giebt, die auf der Oberfläche der Körper erscheinen. Man nennt diese Erscheinungen Moser'sche Bilder (Schattenbilder). Wenn man auf eine Glas-, Harz- oder Metallplatte mit einem Holzstifte schreibt, und darauf die Platte behaucht, so schlägt sich an den berührten Stellen der Wasserdampf auf andere Weise, als an den anderen Stellen nieder und die Züge der Schrift kommen zum Vorschein. Dasselbe findet sogar statt, wenn man einen an einer Glasplatte hängenden Wassertropfen auf einer polirten Platte herumzieht, sodass er der Stange dabei folgt, ohne auf der Platte hängen zu bleiben. Legt man einen gravirten Stempel auf eine Silberplatte, nimmt ihn nach einiger Zeit hinweg und behaucht die Platte oder setzt sie Quecksilberdämpfen aus, so zeigt sich das Bild des Stempels. Dasselbe findet auch statt, wenn man den Stempel einige Zeit lang im Dunklen auf der Platte liegen lässt, und letztere sodann behaucht.

Dr. Waidele giebt von den eben erwähnten Erscheinungen folgende Erklärung. Die Körper besitzen im hohen Grade die Eigenschaft, Gase auf ihrer Oberfläche zu condensiren und sich gleichsam mit einer Atmosphäre zu umgeben. Je mehr von einem Gas ein Körper bereits verdichtet hat, desto weniger andere Gase ist er im Stande zu condensiren. Der Niederschlag der Dünste auf der Oberfläche erfolgt verschieden, je nachdem mehr oder weniger Gas auf der Oberfläche condensirt worden ist; eben so condensiren Stellen, an denen eine verschiedene Gasabsorption stattgefunden hat, die Dämpfe verschieden, denen sie ausgesetzt werden. Berühren sich nun zwei Körper, so muss ein Uebergang der absorbirten Gase von dem einen zum andern stattfinden, und es ist leicht einzusehen, dass ein Körper mit frischgereinigter Oberfläche die Gase stärker an seiner Oberfläche condensirt, als ein solcher, der schon mit einer Gasschicht bedeckt ist. Dieses muss auch stattfinden, wenn man einen Stempel auf eine Platte setzt, da die Oberflächen beider Körper nicht gleich rein sind. Die Gase werden sich an der Berührungsstelle mehr oder minder stark als an andern Stellen verdichten, und wenn man sodann die Platte behaucht, so werden sich hier die Dämpfe verschieden condensiren.

Anhang.

Faraday hat vor kurzer Zeit entdeckt, dass der Magnetismus eine Einwirkung auf das Licht ausübe. Wenn man nämlich eine mit einer beliebigen Flüssigkeit angefüllte Röhre, oder auch feste Körper, z. B. ein Stück Glas, vor die Pole eines Magneten, gewissermassen als Anker, bringt, so bemerkt man in dieser Flüssigkeit, wenn man sie in den Polarisationsapparat versetzt, eine Circularpolarisation. Die Richtung der Polarisationsebene ist aber nur von der Lage der Körper gegen die Pole abhängig. Wenn der Lichtstrahl von dem Südpol zum Nordpole des Magneten geht, so erhält die Polarisationsebene eine Drehung rechtsum, bei umgekehrtem Gange eine Drehung nach linksum. Diese Drehung ist am stärksten zu bemerken, wenn man ein Glas, das aus Kieselsäure, Borsäure und Wismuthoxyd besteht, benutzt.

Quellen des Lichtes.

Ausser der Sonne, dem Monde und den Gestirnen, welche als hauptsächlichste Quellen des Lichtes zu betrachten sind, sind noch andere Körper fähig, in unserem Auge das Licht hervorzu-

bringen. So findet häufig bei Verbrennungen, d. h. bei Processen, bei welchen sich ein Verbrenner, wie Kohlenstoff oder ein Metall, mit einem Verbrennungsunterhalter, wie mit Sauerstoff, Chlor, Schwefel u. s. w. verbindet, Lichtentwickelung statt. Das Freiwerden von Elektricität ist gewöhnlich auch mit Leuchten verknüpft; ähnlich ist der Fall bei der Aufhebung der Cohäsion, beim Uebergang aus einem Aggregatzustande in einen andern (vergl. Seite 317), so wie bei der chemischen Verbindung vieler Körper.

So bemerkt man ein schwaches Leuchten, wenn man concentrirte Schwefelsäure schnell in Wasser giesst. Ein hellrothes Erglühen zeigt gebrannter Carrarischer Marmor oder wasserfreier Aetzbaryt, wenn man diese Körper schnell mit so viel Wasser übergiesst, dass viele Theilchen zu gleicher Zeit mit dem Wasser in Berührung kommen.

Die Fäulniss von organischen Substanzen ist sehr oft von Lichtentwickelung begleitet; hierzu ist unter den Vegetabilien besonders das Holz geeignet; von den thierischen Substanzen sind vorzüglich die faulenden Fische zum Leuchten geschickt; doch leuchtet zuweilen auch das Fleisch der Säugethiere, Vögel und Amphibien. Das Leuchten in Folge des Lebensprocesses bemerken wir aber sowohl an Pflanzen, als an Thieren. Während bei gewissen Pflanzen das Leuchten continuirlich ist, wie bei den Rhizomorphen, findet bei anderen eine plötzliche Lichtentwickelung oder ein Blitzen statt; man bemerkt letzteres an den Blumenblättern von *Tropaeolum majus*, *Helianthus annuus*, *Calendula officinalis*, *Lilium bulbiferum*, *Tagetes erecta*, *T. patula* u. s. w.

Das blitzähnliche Leuchten dieser Pflanzen nimmt man nur während des Befruchtungsactes in den Monaten Juli und August wahr.

Unter den Thieren sind es vorzüglich die niederen Classen, welche leuchten, z. B. das Johanniswürmchen, die Bohrmuschel, einige Medusenarten. Eine solche Lichtentwickelung ohne merkliche Temperaturerhöhung nennt man Phosphoresciren.

Ein blauer Phosphorschein ist an den Blättern der *Phytolacca decandra* beobachtet worden. Bemerkenswerth ist auch das Leuchten des Milchsaftes einiger Vegetabilien, wenn derselbe aus einer beigebrachten Wunde fliesst, wie z. B. bei *Euphorbia phosphorea*.

Vierter Abschnitt.

Von der Wärme.

Alle sinnlich wahrnehmbaren Objecte werden durch die Wärme in ihren Eigenschaften verändert. Die Umwandelung des Eises in Wasser, des Wassers in Dampf sind bekannte Beispiele, um den Einfluss der Wärme auf die Körper darzuthun. Die Wärme äussert sich zunächst durch eine eigenthümliche Affection unseres Gefühlsvermögens und geht von einem Körper leicht zu einem anderen über. Wenn man kalte und warme Körper neben einander stellt, so zeigen bald beide eine und dieselbe Temperatur. Diese Mittheilung führt auf den Gedanken, dass die Wärme nicht, wie das Gewicht oder die Farbe, eine Eigenschaft der Körper, sondern dass dieselbe etwas Materielles sei. Betrachtet man die Wärme als einen Körper, so bezeichnet man sie mit Wärmestoff (*Caloricum*), obgleich die Wärme in vieler Beziehung von dem verschieden ist, was man gewöhnlich unter einem Körper versteht. So ist z. B. noch nicht mit Sicherheit ermittelt worden, ob der Wärmestoff wägbar sei oder nicht; die Nichtwägbarkeit ist jedenfalls das Wahrscheinlichere*).

Unsere Kenntniss von der Wärme beschränkt sich auf die verschiedenen Wirkungen, welche sie in den Körpern hervorbringt, und auf die Art und Weise ihrer Mittheilung. Daraus lässt sich eine Theorie über die Natur der Wärme aufstellen, die am Schlusse dieses Abschnittes angeführt werden soll.

Wir betrachten den Abschnitt von der Wärme in folgenden sechs Abtheilungen:

1) Die Ausdehnung, die allgemeinste Wirkung der Wärme;
2) Die specifische Wärme;

---

*) Anmerkung. Meissner suchte die Schwere des Wärmestoffes (Aräons) indirect auf folgende Weise zu beweisen. Wenn man gleiche Theile von concentrirter Schwefelsäure und Wasser mit einander mischt, und die bekanntlich sich sehr erhitzende Mischung nach dem Erkalten wieder wägt, so findet man, dass das Gewicht genau so gross ist, wie vor der Vermischung, was aber — da nun die Mischung ein kleineres Volumen angenommen hat, als die beiden Bestandtheile vorher, und da sie also jetzt durch den Druck der Luft weniger von ihrem Gewicht verlieren kann als vorher, und demnach schwerer erscheinen müsste — nicht geschehen könnte, wenn nicht ein Etwas — das Aräon — hier entwichen wäre. — Viele Physiker haben jedoch das angeführte Experiment Meissner's mit der Schwefelsäure als Beweis für die entgegengesetzte Meinung angesehen.

3) Die Mittheilung der Wärme durch Leitung und Strahlung;
4) Das Schmelzen und das Verdampfen als eine Wirkung der Wärme;
5) Die Ansichten über die Natur der Wärme;
6) Die Quellen der Wärme.

Die Ausdehnung, die allgemeinste Wirkung der Wärme.

Alle Körper erleiden durch die Wärme eine Veränderung ihres Volumens, d. h. sie werden ausgedehnt. Die Grösse der Ausdehnung steht in innigem Zusammenhange mit der Grösse der Erwärmung, so dass sich die Ausdehnung benutzen lässt, um die Grösse der Erwärmung zu bestimmen.

Unter der Temperatur eines Körpers versteht man den Grad seiner Erwärmung. Das Instrument, das zum Messen der Temperatur dient, nennt man Thermometer (Wärmemesser, Thermoskop). Die Ausdehnung der festen Körper ist zu gering, um gemessen werden zu können, dieselben lassen sich daher nicht wohl zur Bestimmung der Temperatur anwenden. Die gasförmigen Körper werden dagegen durch die geringste Temperaturveränderung so ausgedehnt, dass sie nicht wohl zu gewöhnlichen Zwecken benutzt werden können.

Am häufigsten benutzt man zum Messen der Temperatur Flüssigkeiten, und von diesen Quecksilber und Alkohol; je nachdem eine dieser Flüssigkeiten als thermometrische Substanz dient, unterscheidet man Quecksilberthermometer und Alkohol- (Weingeist) thermometer (vergl. Seite 8). Das gewöhnliche Thermometer, von der Fig. 306 abgebildeten Form, ist schon früher beschrieben worden; es bleibt uns nur noch übrig, die Construction desselben anzuführen.

Fig. 306.

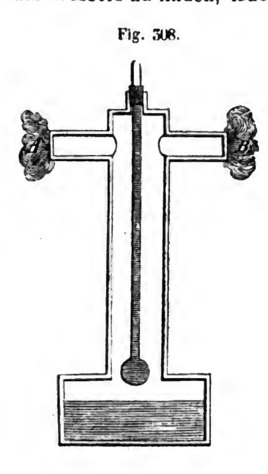


Das Quecksilberthermometer besteht aus einer gläsernen, engen, vollkommen cylindrischen Röhre, an deren Ende eine ihrer Weite angemessene Kugel angeblasen ist. Kugel und Röhre werden bis zu einer bestimmten Höhe, die von der Temperatur abhängig ist, mit Quecksilber angefüllt. Zu diesem Zwecke erwärmt man die offene Kugel, damit die darin enthaltene Luft sich ausdehne, und taucht sodann das offene Ende der Röhre in ein Gefäss mit Quecksilber (Fig. 307). Beim Erkalten zieht sich ein Theil des Quecksilbers in die Höhe. Nachdem dies geschehen ist, dreht man den

Fig. 307.

Apparat herum und erhitzt die Kugel von Neuem, bis das Quecksilber ins Sieden geräth; durch die Quecksilberdämpfe werden die letzten Antheile der Luft ausgetrieben. Wenn man nun das offene Ende der Röhre in Quecksilber taucht, so steigt dasselbe in dem Masse in die Höhe, als der Quecksilberdampf sich verdichtet, und füllt endlich Kugel nnd Röhre vollständig an. Von dem Quecksilber treibt man durch Erhitzen so viel fort, als den Temperaturgrenzen entspricht, zwischen denen es gebraucht werden soll, und schmilzt sodann die Röhre zu. Ist das Thermometer so weit fertig, so schreitet man zur Graduation; die Principien, auf welche dieselbe basirt ist, sind folgende: Das Eis schmilzt stets bei derselben Temperatur; der Dampf des siedenden Wassers hat bei dem nämlichen Druck stets dieselbe Temperatur. Man taucht daher das Thermometer in gestossenes, schmelzendes Eis; das Quecksilber in der Röhre sinkt herab und bleibt auf einem bestimmten Punkte stehen; dieser Punkt wird mit einem Feilstriche bezeichnet, und entspricht dem Gefrierpunkt. Um den entsprechenden Siedepunkt des Wassers zu finden, taucht man das Thermometer in ein kupfernes Gefäss (Fig. 308), in welchem sich Wasser im Sieden befindet. Der Dampf entweicht durch die beiden Oeffnungen *A* und *B*, durch welche der atmosphärische Druck ungehindert einwirken kann. Entspricht dieser Druck genau 760 Millimetern, so bemerkt man genau den Punkt, bis zu welchem das Quecksilber in der Röhre gestiegen ist. Der Raum zwischen den beiden bezeichneten Punkten heisst der **Fundamentalabstand**. Je nachdem man nun denselben verschieden abtheilt, erhält man die Scalen von **Celsius**, **Réaumur** und **Fahrenheit** (vergl. Seite 9). Die Eintheilung in Grade wird noch über den Siedepunkt und unter den Eispunkt fortgesetzt. Die Scala lässt sich fortführen bis zu $+ 360^0$ und bis zu $- 35^0$ Celsius; wollte man weiter gehen, so würde man einmal dem Siedepunkte

Fig. 308.



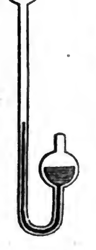
des Quecksilbers, das andere mal dem Gefrierpunkte desselben zu nahe kommen, in deren Nähe die Ausdehnung des Quecksilbers nicht mehr regelmässig von statten geht.

Ist bei der Bestimmung des Siedepunktes der Barometerstand nicht genau 760 Millimeter, so wird, ehe der Punkt auf dem Thermometer bezeichnet wird, die entsprechende Höhe durch Rechnung gefunden.

Das Alkoholthermometer ist dem vorigen ähnlich, nur mit dem Unterschiede, dass man als thermometrische Flüssigkeit roth oder blau gefärbten Alkohol anwendet. Man benutzt dasselbe häufig bei Bestimmungen von Kältegraden, die in der Nähe des Gefrierpunktes des Quecksilbers liegen, weil es bei dieser Temperatur noch seinen regelmässigen Gang beibehält. Bei Bestimmung von Wärmegraden steht es an Genauigkeit dem Quecksilberthermometer nach, da sein Gang über den Eispunkt weniger regelmässig ist.

Das gewöhnliche Luftthermometer besteht aus einer an dem einen Ende offenen, an dem anderen Ende aber mit einer angeblasenen Kugel versehenen Glasröhre (Fig. 309), die man etwas erwärmt, um einen Theil der Luft auszutreiben, und darauf mit dem offenen Ende in eine gefärbte Flüssigkeit taucht, die beim Erkalten und Zusammenziehen der Luft in der Röhre aufsteigt. Sobald nun der Glaskugel Wärme mitgetheilt wird, dehnt sich die Luft in derselben aus und drückt deshalb die Säule der gefärbten Flüssigkeit in die Röhre hinab.

Fig. 309.



Zur Messung feiner Temperaturunterschiede dient das Differentialthermometer von Leslie, das so, wie Fig. 310 zeigt, construirt ist. Bei gleicher Wärme beider Kugeln steht die trennende Flüssigkeit am Nullpunkte der Scala. Das von Rumford angegebene Differentialthermometer besteht aus einer rechtwinklig umgebogenen Glasröhre, welche an beiden Enden mit Kugeln versehen ist (Fig. 311). Die Röhre enthält gefärbten Alkohol oder gefärbte Schwefelsäure. Die Luft in den Kugeln drückt gegen dieses Säulchen nach entgegengesetzten Seiten hin; ist der Druck auf beiden Seiten derselbe, so nimmt die Säule eine bestimmte Stellung ein, die

Fig. 310.

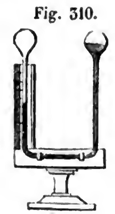
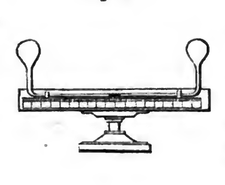


Fig. 311.



als Nullpunkt der Theilung dient; beide Kugeln haben in diesem Falle gleiche Temperatur. Steigert sich aber die Temperatur der einen Kugel, so steigt das Flüssigkeitssäulchen nach der andern Kugel hin und die Entfernung des Säulchens vom Nullpunkte ist dem Temperaturunterschiede der Kugeln proportional.

Wendet man zur Flüssigkeitssäule eine flüchtige Flüssigkeit, wie z. B. Aether, an, so enthält die Luft auch Dämpfe dieser Flüssigkeit, und im Fall der Erwärmung einer Kugel wird nicht nur die Expansivkraft der Luft und der Dämpfe grösser, sondern es bilden sich auch neue Dämpfe. Das Instrument wird dadurch empfindlicher, lässt sich aber nicht mehr auf einfache Weise, wie die vorigen Instrumente, graduiren.

Ueber die Benutzung der Thermoelektricität zum Messen der Wärme siehe unten strahlende Wärme.

Die zur Messung sehr hoher Temperaturen dienenden Thermometer nennt man Pyrometer; die wichtigsten derselben sind folgende:

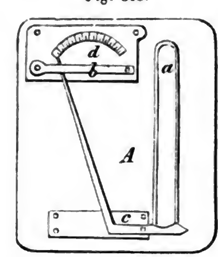
Das Pyrometer von Wedgewood. Dieses Instrument gründet sich auf die Eigenschaft des Thones, im Feuer um so mehr zusammenzuschrumpfen, je grösser die Hitze ist. Es werden daher kleine Thonwalzen von bestimmter Länge in das zu beurtheilende Feuer gebracht, damit man nachher aus ihrer Verkürzung auf die Höhe der Temperatur schliessen könne. Die Verkürzung selbst wird durch Einschieben der Thonwalzen zwischen zwei convergirende graduirte Lineale *AB* (Fig. 312) bestimmt. Dieses pyrometrische Verfahren ist jedoch nicht ausreichend, da der Thon nicht durch die ganze Reihe der Temperaturabstände gleichförmig, und auch bei länger anhaltender schwacher Hitze eben so viel einschrumpfen kann, wie bei grösserer Hitze von kurzer Dauer.

Fig. 312.

A B 27 0

Das Pyrometer von Guyton de Morveau (Fig. 313) gründet sich auf die Ausdehnung des Platins durch die Wärme. Es besteht aus einer Platinstange *a*, die in die Thonplatte *A* eingelassen ist, so dass sie sich mit einem Ende gegen den Rand der Vertiefung stemmt, in der sie liegt, mit dem andern gegen den kürzeren Hebelarm der Platinnadel *bc*, die um *c* beweglich ist, drückt. Der längere Hebelarm endigt in eine Spitze, die sich an einer Gradeintheilung hin- und herbewegt und mit einem Nonius

Fig. 313.

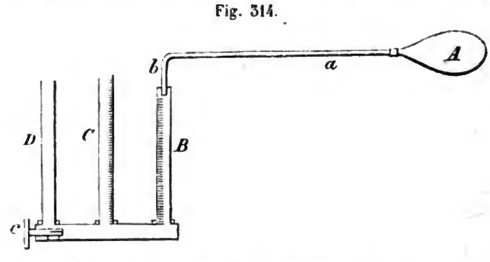


versehen ist, um noch Zehntel eines Grades ablesen zu können. Im Feuer dehnt sich die Platinstange aus und bewegt dabei den kürzeren Hebelarm; die Bewegung des Platins wird durch denselben auf den längeren Hebelarm übertragen und im Verhältniss beider Hebelarme zu einander vermehrt. Um das Zurückgehen der Nadel *bc* zu verhüten, wird dieselbe an dem äussersten Punkte durch die Feder *d* festgehalten.

Daniell benutzte zu seinem Pyrometer den Unterschied der Ausdehnung des Platins und Graphits. Ein aus einer Mischung von Graphit und Thon bestehender Cylinder wird zum Theil ausgebohrt. Eine Platinstange, die auf dem Boden der Höhlung ruht, schiebt während der Erhitzung einen gegen die innere Wand der Höhlung geklemmten Porcellancylinder in die Höhe, weil das Platin stärker ausgedehnt wird, als der Graphit. Der Porcellancylinder wird natürlich um so mehr in die Höhe gehoben, je stärker der Hitzgrad ist, je mehr sich also das Platin ausgedehnt hat.

Das Luftpyrometer (Fig 314), das sich auf das Princip der

Fig. 314.



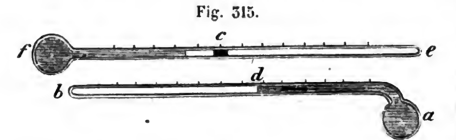
Luftausdehnung gründet, besteht wesentlich aus einem hohlen Platinkörper *A*, der mit einer langen, engen Röhre *ab* in Verbindung steht. Das andere Ende der Röhre ist luftdicht in den graduirten Glascylinder *B* eingefügt, welcher mit der ebenfalls graduirten Röhre *C* communicirt. Beide Röhren sind mit der dritten Röhre *D* verbunden, welche mit Quecksilber gefüllt ist. Letzteres kann durch den Hahn *c* in die beiden andern Röhren treten, oder

bei einer anderen Stellung des Hahnes aus diesen nach unten in ein Gefäss abfliessen. Der Hahn lässt sich endlich auch so stellen, dass die Röhren *B* und *C* ganz abgeschlossen sind. Alle drei Cylinder befinden sich in einem mit Wasser angefüllten Gefässe. Der Stand des Quecksilbers in den beiden gleich weit graduirten Röhren wird durch ein Fernrohr beobachtet. Um pyrometrische Messungen anzustellen, lässt man in die Cylinder *C* und *B* so viel Quecksilber treten, dass es in ihnen bis zu den Nullpunkten der Scala reicht. Wird nun das Platingefäss *A* der zu messenden Hitze ausgesetzt, so dehnt sich die Luft aus, drückt die Quecksilbersäule in *B* nieder und bewirkt ein Steigen derselben in *C*. Haben sich beide Quecksilbersäulen ins Gleichgewicht gesetzt, so lässt man durch den Hahn so lange Quecksilber abfliessen, bis es in beiden Röhren wieder in gleichem Niveau ist. In der Anzahl der Scalentheile, um welche die Luft in *B* ihr Volumen vergrössert hat, liegt das Mass für den erreichten Hitzegrad.

Ein anderes Pyrometer (von James Prinsep) besteht darin, sehr hohe Hitzegrade aus den Schmelzpunkten verschiedener Metalle und Metalllegirungen abzuleiten.

Oft ist es wünschenswerth, den höchsten und tiefsten Stand zu kennen, den ein Thermometer während einer gewissen Zeit inne hatte. Dazu dient das Maximum- und Minimumthermometer von Rutherford oder der Thermometrograph (Fig. 315). Dasselbe besteht aus zwei horizontal liegenden Thermometern. Das eine, das Maximumthermometer *fe*, ist mit Quecksilber, das andere, das Minimumthermometer *b a*, mit gefärbtem Alkohol gefüllt. In jenem befindet sich ein Cylinder *c* von Eisen oder Fischbein, in diesem ein Cylinder *d* von Glas. Wenn das Quecksilber sich ausdehnt, so treibt es das eiserne Cylinderchen vor sich her und lässt es, sobald das Quecksilber wieder zurückgeht, an der Stelle *c* der stattgefundenen höchsten Temperatur liegen. Wenn sich der Alkohol zusammenzieht, so nimmt er das gläserne Cylinderchen *d* mit sich fort, und lässt dann bei seinem Wiederausdehnen das gläserne Cylinderchen an der stattgefundenen niedrigsten Temperatur liegen. Vor jeder neuen Beobachtung werden die Zeiger wieder bis zur Oberfläche der Flüssigkeitssäulen zurückgeführt.

Fig. 315.



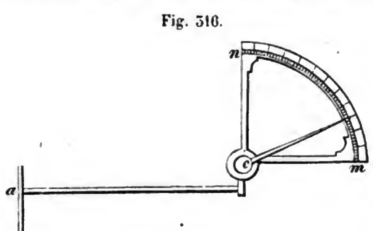
Fast jeder Körper wird durch die Wärme nach allen Dimensionen gleichmässig ausgedehnt, d. h. seine Breite und Dicke vergrössern sich proportional seiner Länge. Die Zunahme einer Dimension ist die lineare Ausdehnung, die Zunahme des Volumens des Körpers die cubische Ausdehnung. Gewöhnlich giebt man an, um den wievielsten Theil ihrer Länge sich eine der Dimensionen eines Körpers vergrössert, während die Temperatur desselben um 1° C. zunimmt, und diese Angabe heisst der Coëfficient der linearen Ausdehnung. Ebenso ist der Coëfficient der cubischen Ausdehnung die Angabe, um den wievielsten Theil des Volumens ein Körper zunimmt.

Die festen Körper werden entweder durch die Wärme nach allen Richtungen gleich stark ausgedehnt, oder sie erleiden nach verschiedenen Richtungen hin eine ungleiche Ausdehnung; im ersteren Falle ändern sie nur ihre Grösse, behalten aber ihre Gestalt bei; im andern Falle dagegen ändert sich auch ihre Gestalt. Bei festen Körpern ist die Grösse der Ausdehnung nicht genau gleichmässig, d. h. bei verschiedenen Temperaturen ist sie nicht genau den entsprechenden Wärmegraden proportional; die Abweichung ist jedoch so unbedeutend, dass sie innerhalb des Fundamentalabstandes des Thermometers vernachlässigt werden kann.

Bei Körpern, die sich nach allen Richtungen gleich stark ausdehnen, braucht man nur die einer gewissen Temperatur entsprechende Vergrösserung nach einer Richtung, oder die lineare Ausdehnung, zu bestimmen, um daraus die cubische Ausdehnung zu berechnen. Der Coëfficient für die cubische Ausdehnung ist unmerklich mehr als das Dreifache des Coëfficienten der linearen Ausdehnung.

Um die lineare Ausdehnung eines festen Körpers zu bestimmen, bedient man sich des Fig. 316 abgebildeten Apparates Das eine Ende des zu untersuchenden Körpers stemmt sich bei a gegen eine feste Widerlage; das andere Ende gegen den kürzeren Arm eines Winkelhebels, der um den Punkt c drehbar ist. Dehnt sich nun der Körper durch Erwärmung aus, so wird das untere Ende des längeren Hebel-

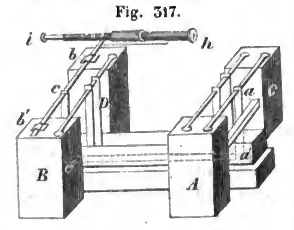
Fig. 316.



armes fortgeschoben und veranlasst auch das längere Ende des Hebelarmes zu einer Bewegung auf der Scala *mn*. Der Weg, den der längere Arm auf der Scala zurücklegt, ist bedeutend grösser als die Verschiebung des kürzeren Armes; ist nun der längere Arm hinreichend lang, so lässt sich auch die kleinste Verlängerung des Körpers bemerkbar machen. Es ist aber bei diesem Versuche nothwendig, dass die Drehungsaxe des Hebels, so wie die feste Widerlage unverrückt bleiben.

Ein anderer Apparat, der von Lavoisier und Laplace zur Bestimmung der Ausdehnung fester Körper benutzt wurde, ist folgender. Zwischen vier steinerne Pfeiler *ABCD* (Fig. 317), die in die Erde eingesenkt sind, befindet sich ein mit Wasser oder Oel gefüllter Kasten, in welchen man den zu prüfenden Gegenstand auf gläserne Stäbe legt. An einem eisernen Querstabe hängt vertical ein Glasstab *aa'* herab, gegen welchen sich das eine Ende des Stabes stützt; das andere Ende wird von einen ähnlichen Glasstabe *c* berührt, welcher von einem um seine Axe drehbaren Stabe *bb'* getragen wird; auf der Verlängerung dieser Stange befindet sich ein Fernrohr *hi*, das nach einer entfernten Scala gerichtet ist. Wird nun die Flüssigkeit in dem Kasten erhitzt, so wird das Ende der Stange *bb'* durch die Ausdehnung des Stabes *aa'* verändert, und das Fernrohr erleidet eine Drehung, die an der entfernten Scala abgelesen wird. Auf diese Weise lässt sich die geringste Ausdehnung des Stabes bemerklich machen.

Fig. 317.



In der folgenden Tabelle ist die lineare Ausdehnung einiger festen Körper bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° in Decimalbrüchen und in gemeinen Brüchen angegeben.

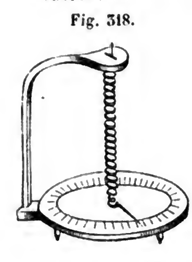
Namen der Körper.	Ausdehnung.	
Flintglas	0,00081166	$^1/_{1248}$
Platin	0,00088420	$^1/_{1131}$
Stahl	0,00122500	$^1/_{816}$
Eisen	0,00118210	$^1/_{846}$
Gusseisen	0,00111000	$^1/_{901}$
Stabeisen (als Draht)	0,00144010	$^1/_{694}$
Gold	0,00156155	$^1/_{645}$
Antimon	0,00108550	$^1/_{923}$
Wismuth	0,00139167	$^1/_{719}$

Namen der Körper.	Ausdehnung.	
Kupfer	0,00171820	1/582
Messing	0,00186760	1/535
Silber	0,00190868	1/524
Blei	0,0028667	1/349
Zink	0,00294167	1/340.

Die Kraft, mit der die festen Körper sich beim Erwärmen ausdehnen und beim Erkalten wieder zusammenziehen, ist sehr bedeutend. Nicht nur dickes Glas, ja sogar eiserne Platten springen bei schnellem Temperaturwechsel, wenn diese Veränderung nicht die ganze Masse des Körpers durchgängig, sondern nur zum Theil trifft, wie es z. B. der Fall ist, wenn glühende Platten durch Begiessen mit kaltem Wasser zum Theil abgekühlt werden. Diese Kraft lässt sich oft mit grossem Vortheil benutzen. Ringe und Beschläge sitzen, heiss aufgepasst, nach dem Erkalten fest auf (vergl. Seite 8). Molard brachte sogar die ausgewichenen Mauern eines Magazins dadurch wieder in ihre frühere Lage, dass er starke eiserne Anker durchziehen, erhitzen und sodann festschrauben liess, die beim Erkalten die Mauern wieder zusammenzogen. Die Ausdehnung durch Wärme muss besonders berücksichtigt werden bei metallenen Wasser- oder Gasleitungsröhren, indem man sogenannte Ausgleichungsröhren anbringt, welche den Röhren gestatten, sich auszudehnen und wieder zusammenzuziehen.

Auf der Ausdehnung durch Wärme und Zusammenziehung durch Kälte beruht das Krachen geheizter eiserner Oefen, des Eises an strengen Wintertagen, das Abspringen der Glasur an Gefässen u. s. w. Eben so ist der ungleiche Gang der Uhren im Sommer und Winter Folge der Ausdehnung. Will man bei dem Pendel den Einfluss der Wärme unschädlich machen, d. h. die durch die Ausdehnung gestörte Gleichheit der Pendelschwingungen — den Isochronismus — wieder herstellen, so bedient man sich der Seite 70 beschriebenen Compensation.

Fig. 318.



Da, wie aus der obigen Tabelle hervorgeht, die verschiedenen Metalle verschiedene Ausdehnung zeigen, so kann man sich der letzteren zur Construction eines Thermometers bedienen. Bei Breguet's Metallthermometer (Fig. 318) sind zwei Streifen aus Silber und Platin durch einen Goldstreifen zusammengelöthet, und der daraus entstehende Streifen zu einer hohlen Spirale gewunden. An ihrem oberen Ende ist diese Spirale befestigt, an dem unteren befindet sich ein Zeiger, der sich über einem eingetheilten Kreise bewegt.

Da man dem Streifen durch Strecken eine Dicke von $^1/_{100}$ Linie gegeben hat, so muss derselbe bei der geringsten Temperaturveränderung auf die Stellung des Zeigers einwirken.

Auf der ungleichen Ausdehnung der Metalle durch die Wärme beruht ferner das Quadrantenthermometer von Holzmann.

Ausdehnung der Krystalle durch Wärme. Mitscherlich hat die merkwürdige Entdeckung gemacht, dass alle krystallisirten Körper, mit Ausnahme derer, die nicht zum regulären Systeme gehören, durch die Wärme nicht nach allen Richtungen hin gleichmässig ausgedehnt werden. Die Ausdehnung ist in der kleinen Axe bedeutender, als in der grossen, und diese Erscheinung spricht sich in den Veränderungen in den Winkeln der Krystalle aus. Sehr einfach lässt sich die Erscheinung der ungleichen Ausdehnung zeigen, wenn man aus Zwillingskrystallen (am besten von Gyps) Platten so herausschneidet, dass die Schnittflächen senkrecht gegen die Zusammensetzungsfläche sind. Bei der Temperatur, bei welcher der Krystall geschliffen wird, sind die Schnittflächen eben, und eine jede giebt von einem entfernten Gegenstande ein einfaches Bild. Erhöht man aber die Temperatur des Krystalles bis auf 60—80°, so wird jede Schnittfläche eine gebrochene Ebene und man erblickt zwei Spiegelbilder jenes Gegenstandes.

Hierher gehört auch die von Mitscherlich beobachtete Erscheinung, dass, wenn ein Salz bei einer gewissen Temperatur mit einer gewissen Krystallgestalt angeschossen ist, aber nachher einer höheren Temperatur ausgesetzt wird, bei welcher es mit einer andern Krystallgestalt angeschossen sein würde, es sich in ein Aggregat dieser letzteren Form verwandelt, ohne das vorher ein flüssiger Zustand eingetreten ist.

Ausdehnung tropfbarflüssiger Körper durch Wärme. Die tropfbarflüssigen Körper werden von der Wärme weit mehr ausgedehnt, als die festen Körper. Da aber die Punkte, bei welchen diese Körper in einen andern Aggregatzustand übergehen, bei sehr vielen derselben in nicht geringerer Entfernung von 0° stehen, so zeigt die Zunahme ihrer Ausdehnung bei weitem nicht die Gleichmässigkeit, die wir bei der Ausdehnung fester Körper bemerken. Im Allgemeinen kann man den Satz aufstellen, dass bei jedem tropfbarflüssigen Körper einer bestimmten Temperatur eine bestimmte Ausdehnung entspricht, dass die Ausdehnung mit der Temperatur aber nicht gleichmässig zunimmt, dass die Zunahme der Ausdehnung einer Flüssigkeit um so stärker wird, je mehr sich die Temperatur dem Siedepunkte nähert. In der Nähe des Siedepunktes dehnen sich die Flüssigkeiten in einem grösseren Verhältnisse aus, als die Temperatur zunimmt; in der Nähe der Tempe-

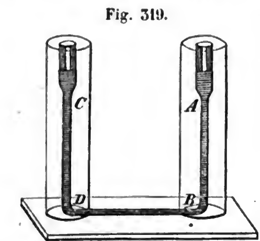
ratur, bei welcher die tropfbarflüssigen Körper fest werden, verhalten sich nicht alle gleich, da der Punkt der grössten Dichte nicht immer mit dem Punkte des Festwerdens zusammenfällt.

So dehnt sich z. B. das Wasser beim Gefrieren aus; andere Flüssigkeiten, die sich beim Festwerden wie das Wasser ausdehnen, sind: geschmolzenes Eisen, Wismuth, Antimon, Schwefel. Andere Flüssigkeiten ziehen sich beim Erstarren zusammen, so das Quecksilber.

Die gewöhnlichste Methode, die Ausdehnung der Flüssigkeiten zu messen, ist diejenige, auf welcher das Thermometer beruht. Es kommt hier ebenso, wie bei dem Thermometer, darauf an, Glasröhren von vollkommen gleicher Weite aufzufinden, ferner die Ausdehnung genau zu berücksichtigen, welche das Glas durch den Einfluss der Wärme erleidet. Es muss deshalb die scheinbare Ausdehnung der Flüssigkeit durch die Ausdehnung des Glasgefässes corrigirt werden, um die absolute zu erhalten. Dies geschieht, indem man die bekannte cubische Ausdehnung des Glasgefässes zu der scheinbaren Ausdehnung der Flüssigkeit addirt.

Um die absolute Ausdehnung des Quecksilbers zu bestimmen, haben Dulong und Petit folgenden Apparat (Fig. 319) angewendet. Eine Glasröhre ist so gebogen, dass sie zwei Schenkel *CD* und *AB* hat, welche rechtwinklig auf dem mittleren Theile *DB* stehen. Diese Röhre bringt man in eine Stellung, so dass beide Schenkel genau lothrecht stehen, und giesst Quecksilber in die Röhre, das bei gleicher Temperatur in beiden Schenkeln gleich hoch stehen muss. Wird nun der eine Schenkel durch Eis bis auf 0° abgekühlt, der andere aber bis auf 100° erhitzt, so ist die Dichte des Quecksilbers in dem letzten Schenkel geringer, und die Quecksilberfläche ist in diesem Schenkel höher als in dem andern. Die Höhen der Flüssigkeitssäulen werden mit Hülfe eines Fernrohres gemessen. Da diese Höhen der Quecksilbersäulen im umgekehrten Verhältnisse der Dichte stehen, letztere sich aber umgekehrt verhalten wie die Volumina, so kann man aus den Höhen die Ausdehnung des Volumens berechnen.

Fig. 319.



Gesetzt, die Höhe der bis auf 100° erhitzten Quecksilbersäule betrage 56 Centimeter, und nur 55 Centim. in der bis auf 0° abgekühlten, so kann man daraus den Schluss ziehen, dass das Quecksilber von 0°—100° sich um $1/55$ ausdehne;

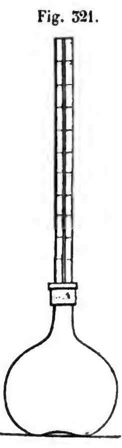
ein Liter Quecksilber von 0° ist demnach gleich 1,018018 oder $1\frac{1}{55}$ Liter Quecksilber von 100°.

Fig. 320.

Die Ausdehnung des Quecksilbers lässt sich noch auf folgende Weise bestimmen. Ein Glasgefäss (Fig. 320) wird in eine Spitze ausgezogen und mit Quecksilber von 0^0 erhitzt. Nachdem die Quantität des Quecksilbers gewogen worden ist, wird der Apparat erwärmt, wodurch Quecksilber ausfliesst, und zwar eine um so grössere Menge, je höher die Temperatur steigt. Der Gewichtsverlust, den das Quecksilber erlitten hat, giebt das Verhältniss an, in welchem das Quecksilber ausgedehnt worden ist.

Die Ausdehnung des **Wassers durch die Wärme** ist der Gegenstand vielfacher Untersuchungen gewesen. Wie schon oben erwähnt worden ist, zeigt das Wasser die merkwürdige Eigenschaft, nicht im Gefrierpunkte sein kleinstes Volumen zu zeigen, sondern daselbst mit einer bedeutenden Kraft sich auszudehnen. Wenn man Wasser von 0^0 erwärmt, so zieht es sich zusammen, bis es ungefähr die Temperatur von $+ 4^0$ erreicht hat; über diesen Punkt hinaus erwärmt, befolgt das Wasser die gewöhnlichen Ausdehnungsgesetze. Bei 0^0 und bei 8^0 zeigt sich das Wasser gleich dicht. Man kann diese Eigenschaft mit Hülfe eines Wasserthermometers (Fig. 321) zeigen. Auf den Hals des Ballons ist eine in Messing gefasste Glasröhre aufgeschraubt, welche mit einem getheilten Stabe versehen ist, um die Höhe der Wassersäule ablesen zu können. Zu gleicher Zeit befindet sich an dem Apparat ein Thermometer zur Bestimmung der Temperatur. Man füllt den Apparat mit Wasser von 0^0, steigert allmählich die Temperatur und beobachtet die den verschiedenen Temperaturen entsprechenden Höhen des Wassers in der Glasröhre. Der unterste Punkt des getheilten Stabes wird als Nullpunkt benutzt. Es zeigt sich dann, dass das Wasser bei ungefähr $+ 4^0$ die grösste Dichte besitzt. Es versteht sich von selbst, dass die cubische Ausdehnung des Glasgefässes, in welchem der Versuch angestellt wird, berücksichtigt werden muss.

Fig. 321.



Es giebt aber noch ein anderes Verfahren, durch welches gezeigt werden kann, dass das Maximum der Dichte des Wassers in

der That bei ungefähr + 4° liegt. Senkt man nämlich in ein hohes, mit Wasser angefülltes Gefäss mehrere Thermometer so ein, dass die Kugeln derselben sich in verschiedenen Abständen vom Boden befinden, und überlässt darauf das Gefäss in einem Zimmer, dessen Temperatur 0° beträgt, sich selbst, so zeigen die unteren Thermometer stets eine niedrigere Temperatur, als die oberen, und das unterste wird auf + 4° C. stehen, woraus hervorgeht, dass das Wasser von dieser Temperatur specifisch schwerer ist, als Wasser von 3°, 2° und 1°.

Hällström hat aus seinen Versuchen, und denen von Munke und Stampfer folgende Werthe für die Temperatur des Maximums der Dichte des Wassers berechnet: nach Hällström 4°,031
nach Munke 3°,879 } nach verschiedenen Beobachtungs-
nach Munke 3°,972 } reihen.
nach Stampfer 3°,790.
Nach Hällström wäre somit die wahre Temperatur des Maximums 3°,90. Rudberg giebt an 4°,02, Despretz 3°,997.

Dichte des Wassers nach Hällström; die Dichte desselben bei 0° = 1 gesetzt:

Temperatur.	Dichte.	Temperatur.	Dichte.	Temperatur.	Dichte.
0°	1,00000	15°	0,9992	35	0,9942
1	1,00005	16	0,9991	40	0,9925
2	1,00008	17	0,9989	45	0,9906
3	1,00010	18	0,9987	50	0,9856
3,9	1,000118	19	0,9986	55	0,9862
4	1,000112	20	0,9984	60	0,9838
5	1,000103	21	0,9982	65	0,9812
6	1,000081	22	0,9979	70	0,9785
7	1,000044	23	0,9977	75	0,9756
8	0,99999	24	0,9975	80	0,9726
9	0,99993	25	0,9972	85	0,9695
10	0,99985	26	0,9970	90	0,9663
11	0,99976	27	0,9967	95	0,9630
12	0,99966	28	0,9964	100	0,9596
13	0,99954	29	0,9961		
14	0,99941	30	0,9958		

Ausdehnung gasförmiger Körper durch Wärme. Gasförmige Körper dehnen sich durch die Wärme stärker aus, als flüssige und feste; der Grund dieser grösseren Ausdehnung liegt darin, dass die Theilchen der Gase durch die Cohäsionskraft nicht

nur nicht zusammengehalten werden, sondern selbst eine kräftige Repulsion gegen einander ausüben. Durch die Erhöhung der Temperatur wird diese Repulsion bedeutend verstärkt und dadurch eine grössere Ausdehnung bewirkt.

Die grosse Verschiedenheit bezüglich der Ausdehnung der festen, flüssigen und gasförmigen Körper tritt in folgendem Beispiel hervor:

Beim Erwärmen von 0^0 bis auf 100^0 werden

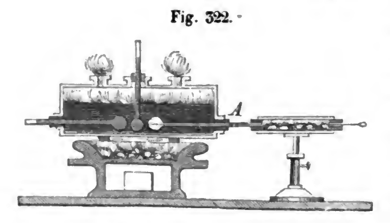
1000	Kubikcentimeter	Eisen	zu 1000	Kubikcentimetern,
1000	„	Wasser	„ 1045	„
1000	„	Luft	„ 1366	„

Die Grösse der Ausdehnung der Gase durch Wärme war bis auf die neuere Zeit nicht genau bekannt, weil es bei den älteren Versuchen vernachlässigt worden war, die Gase zu trocknen. Die geringste Menge Wasserdampf, die dem Gase beigemengt ist, bewirkt eine grosse und unregelmässige Ausdehnung.

Gay-Lussac und Dalton stellten 1801, unabhängig von einander, das Gesetz auf, dass alle Gase eine und dieselbe Vergrösserung des Volumens bei Erwärmung um eine gleiche Anzahl von Graden erleiden, ***dass sich mithin alle Gase gleich stark ausdehnen.***

Gay-Lussac bediente sich zur Bestimmung der Ausdehnung der Gase durch die Wärme folgenden Apparates. Eine Thermometerröhre, an welcher sich eine Kugel angeblasen befand, war dem Raume nach in gleiche Theile getheilt, und das Verhältniss eines solchen Theiles zur Capacität der Kugel genau bestimmt. Kugel und Röhre wurden mit vollkommen trockener Luft oder Gas gefüllt; zu diesem Zwecke füllte man die Röhre mit Quecksilber und kochte dieses aus; alsdann brachte man die Röhre in ein etwas weiteres Rohr, das mit geschmolzenen Chlorcalciumstückchen angefüllt war. Gab man nun dem Ganzen eine verticale Stellung, so musste Quecksilber aus der Röhre aus- und trockene Luft dafür eintreten. Man liess alles Quecksilber durch Luft oder Gas verdrängen bis auf eine kleine Quecksilbersäule, welche die eingeschlossene Luft von der äusseren trennt und zugleich als Index für das Luftvolumen dient. Dieser Apparat ist also in der That ein Gasthermometer. Bringt man nun den Apparat in schmelzendes Eis, so wird der Index bei einem gewissen Theilstriche stehen bleiben und man kennt nun das Volumen, welches das Gas bei 0^0 einnimmt. Darauf bringt man die Röhre in ein Wasserbad, dessen Temperatur mit Hülfe eines eingetauchten Thermometers bestimmt

Fig. 322.



ist (Fig. 322). So wie die Temperatur des Wasserbades sich steigert, wird der Quecksilberindex gegen das offene Ende der Röhre hingeschoben, und man erfährt das durch die Wärme vergrösserte Volumen der eingeschlossenen Luft. Berücksichtigt man nun den Barometerstand und die Ausdehnung der Glasröhre, so hat man alle Bedingungen zur Bestimmung der Ausdehnung eines Gases bei einer gewissen Temperatur. Gay-Lussac fand auf diese Weise, dass für jeden Thermometergrad die Gase sich um 0,00375 ihres ursprünglichen Volumens ausdehnen.

So ist 1 Liter (= 100 Kubikcentimeter) Luft bei $0^{\circ} = 1$

bei $+ 1^{\circ}$ 1 Liter + 0,00375 = 1,00375,

bei $+ 10^{\circ}$ 1 Liter + 0,00375 × 10 = 1,0375,

bei $+ 100^{\circ}$ 1 Liter + 0,00375 × 100 = 1,375.

Gesetzt, man habe ein Volumen Gas von 10° auf ein Volumen Gas von 0° zu reduciren, so besteht das Volumen von 10° aus dem Volumen von 0° plus der durch die Wärme bewirkten Ausdehnung, d. h. 0,00375 multiplicirt mit der Anzahl der Grade über Null. Wäre das Volumen von 0° = 1, so wäre das Volumen von 10° = 1 + 0,00375 × 10. Ist V das bekannte Volumen, V′ das gesuchte, t die Temperatur, so wird man haben $V' = \frac{V}{1 + t \times 0{,}00375}$; also in unserem Beispiele:

$$1 \text{ Liter von } 10^{\circ} = \frac{1 \text{ Liter von } 10^{\circ}}{1 + 10 \times 0{,}0075} = 1 \text{ Liter von } 0^{\circ}.$$

Später hat Rudberg Versuche über die Ausdehnung der Luft durch die Wärme angestellt und gefunden, dass 1000 Volumen Luft von 0° zu 1365 Vol. von 100° werden. Den neuesten Versuchen von Magnus und Regnault zufolge beträgt die Ausdehnung der Luft bei einer Temperaturerhöhung von 0—100° $^{366}/_{1000}$ oder $^{11}/_{30}$ ihres Volumens bei 0°, woraus folgt, dass die Luft sich für jeden Grad der Celsius'schen Scala $^{1}/_{273}$ ihres Volumens bei 0° ausdehnt.

Magnus und Rudberg haben ihre Untersuchungen auch auf andere Gase ausgedehnt und im Widerspruch mit den Angaben von Gay-Lussac gefunden, dass verschiedene Gase durch gleiche Temperaturerhöhung nicht um denselben Betrag ausgedehnt werden; diese Physiker fanden für verschiedene Gase folgende Werthe:

Namen der Gase.	Ausdehnung von 0 bis 100°	
	Regnault.	Magnus.
Atmosphärische Luft	0,3665	0,3665
Kohlensäuregas	0,3689	0,3690
Wasserstoffgas	0,3667	0,3656
Schwefligsaures Gas	0,3669	0,3856
Stickstoffgas	0,3668	
Stickstoffoxydulgas	0,3676	
Kohlenoxydgas	0,3666	
Cyangas	0,3682	
Chlorwasserstoffgas	0,3681	

Es scheint aus diesen Zahlen zu folgen, dass der Ausdehnungscoëfficient coërcibler Gase grösser ist, als der der Luft.

Ueber die Bestimmung der Dichte der atmosphärischen Luft und anderer Gase siehe Seite 120.

Die specifische Wärme.

Obgleich das Wesen der Wärme noch ganz unbekannt ist, kann doch die Menge derselben, oder die Grösse ihres Effectes auf eine von jeder hypothetischen Vorstellung ganz unabhängige Weise in Zahlen ausgedrückt werden. Um eine bestimmte Gewichtsmenge eines und desselben Körpers auf eine bestimmte Temperatur zu bringen, bedarf man natürlich stets derselben Wärmemenge. Eben so einleuchtend ist es, dass die Wärmemenge eines Körpers unter sonst gleichen Umständen der Masse proportional sein muss. Um 100 Liter Wasser von 0° bis auf 100° zu erwärmen, bedarf man 100 mal mehr Wärme, als zur gleichen Erwärmung eines Liters Wasser erforderlich ist.

Gleiche Gewichtsmassen verschiedener Körper aber, wie z. B. von Wasser und Quecksilber, erfordern verschiedene Wärmemengen, um auf ein und dieselbe Temperatur gebracht zu werden. Es lässt sich dies leicht durch folgendes Beispiel zeigen. Taucht man zwei gleich grosse Thermometer, von welchem das eine mit Wasser, das andere mit Quecksilber gefüllt ist, in heisses Wasser, so findet man, dass das mit Quecksilber gefüllte Thermometer die Temperatur des Wassers in der Hälfte der Zeit annimmt, die das Wasserthermometer braucht. Nach dem Entfernen aus dem Wasser bemerkt man, dass das Quecksilberthermometer ebenfalls in der

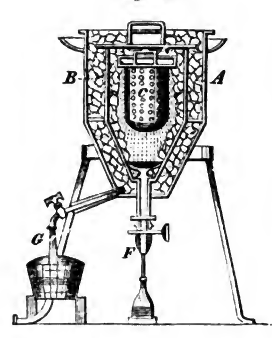
Hälfte der Zeit die Temperatur der umgebenden Luft annimmt. Daraus folgt nothwendiger Weise, dass das Quecksilber nur die Hälfte von der Wärme aufnimmt, welche das Wasser bedarf, um auf gleiche Temperatur gebracht zu werden.

Zu den Wirkungen der Wärme gehören die Ausdehnung (die Vergrösserung des Volumens) und die Aenderung der Aggregatzustände. Beide sind einer numerischen Bestimmung fähig und können daher zur Bestimmung der Wärmemengen benutzt werden. Wärmemenge ist daher nichts anderes, als die Ursache, durch welche das Volumen eines Körpers vergrössert, oder durch welche eine gewisse Menge Eis in flüssiges Wasser umgewandelt wird. Als Einheit der Wärmemenge kann jene Wärmemenge dienen, durch welche eine Volumen- oder Gewichtseinheit eines bestimmten Körpers um eine bestimmte Anzahl Thermometergrade erwärmt, oder durch welche eine bestimmte Menge Eis von 0° geschmolzen werden kann. Wie schon angeführt worden ist, hängt die Wärmemenge, welche in einem Körper eine gewisse Temperaturerhöhung hervorbringen soll, nicht nur von seiner Masse und Temperatur, sondern auch von seiner materiellen Beschaffenheit ab, und man spricht in diesem Sinne von ***specifischer Wärme, unter welcher man diejenige Wärme versteht, welche erforderlich ist, um die Temperatur der Gewichtseinheit eines Körpers um 1° zu erhöhen.*** Je nachdem ein Körper mehr oder weniger specifische Wärme hat, schreibt man ihm eine grössere oder geringere Wärmecapacität zu. Diejenige Wärmemenge, die eine Volumeneinheit eines Körpers braucht, um ihre Temperatur um 1° zu erhöhen, heisst seine relative Wärme. Nimmt man die specifische Wärme des Wassers als Einheit an, so lässt sich die der übrigen Körper numerisch ausdrücken. Für ein und denselben Körper ändert sich die Wärmecapacität mit der Temperatur, und zwar wird sie grösser, je höher die letztere steigt.

Es giebt verschiedene Methoden zur Bestimmung der specifischen Wärme der Körper; die hauptsächlichsten derselben sind: 1) die Methode des Eisschmelzens, 2) die Mischungsmethode, 3) die Erkaltungsmethode.

Die Methode des Eisschmelzens von Lavoisier und Laplace. Zur Ermittelung der specifischen Wärme nach dieser Methode wurde ein Apparat (Fig. 323) benutzt, welchen man Calorimeter nennt. Drei Blechhälter *C*, *B*, *A*, die einige Zoll von einander abstehen, sind in einander gesetzt. Der innerste, *C*, ist bestimmt, den zu untersuchenden Körper aufzunehmen; der Raum *B*

Fig. 325.



wird mit trockenen Eisstücken angefüllt. Das durch das Schmelzen des Eises entstehende Wasser wird durch eine mit dem Hahne *F* versehene Röhre abgelassen. Der Raum *A* wird ebenfalls mit Eisstückchen angefüllt. Durch die Schmelzung des Eises in *A* soll der Raum *C* auf der constanten Temperatur von 0° erhalten werden. Das in *A* sich bildende Wasser wird durch die mit dem Hahne *G* versehene Röhre abgelassen. Eine jede der Hüllen ist mit einem dicht schliessenden Deckel verschlossen. Der zu untersuchende Körper, der vorher bis zu einer bestimmten Temperatur erwärmt worden ist, wird schnell in den Raum *C* gebracht. Die von ihm abgegebene Wärme wird nun zum Schmelzen des Eises in *B* benutzt. Das dadurch entstehende Wasser wird durch *F* abgelassen, sobald der zu untersuchende Körper bis auf 0° abgekühlt ist, und gewogen.

Das Gewicht dieses Wassers $= p$, so wie das Gewicht des Körpers $= k$ dient zur Bestimmung der specifischen Wärme des letzteren. Bedeutet x die specifische Wärme des Körpers, so ist xkt die Wärmemenge, welche der Körper verloren hat. Da aber dieselbe Gewichtseinheit Eis, um zu schmelzen, einer Wärmemenge bedarf, die der gleich ist, durch welche ein gleiches Gewicht Wasser um 75° erwärmt werden kann, so in $p.75$ die Wärme, die das Eis aufgenommen hat; daraus folgt $xkt = 75p$, d. h. $x = \frac{75p}{kt}$. Das Verfahren der Eisschmelzung giebt nicht vollkommen genaue Resultate, weil 1) an den Eisstücken etwas Wasser hängen bleibt, 2) durch Verdunstung Wasser verloren geht, 3) der zu untersuchende Körper an Wärme verliert, während er in den Raum *C* gebracht wird. — Der hauptsächlichste Nutzen des Calorimeters besteht darin, die Wärme zu bestimmen, die bei chemischen Mischungen entsteht.

Die **Mischungsmethode** (besonders von **Regnault** benutzt) besteht darin, eine gewisse Quantität des zu untersuchenden Körpers bis zu einem gewissen Grade zu erwärmen und sodann in ein Gefäss mit Wasser zu bringen, dessen Temperatur durch die Abkühlung des Körpers erhöht wird. Zur Erläuterung mag die Bestimmung der specifischen Wärme des Quecksilbers nach der Mischungsmethode angeführt werden. Es wurden 1000 Gramme Quecksilber bis auf 100° erwärmt, und dann in 200 Gramme Was-

ser von 10^0 gebracht. Nachdem die Temperatur sich ausgeglichen hatte, betrug dieselbe $22^0,9$. Die 1000 Gramme Quecksilber wurden demnach um $100 - 22,9 = 77^0,1$ abgekühlt, um 200 Gramme Wasser um $22^0,9 - 10$, d. h. um $12^0,9$ zu erwärmen. Die Wärmemenge, welche die 1000 Gr. Quecksilber verloren haben, hätte nun natürlich auch genügt, um eine gleiche Gewichtsmenge (= 1000 Gr.) Wasser um $2^0,58$ zu erwärmen, denn $\frac{12,9}{5} = 2.58$. Da nun die specifische Wärme der Körper sich umgekehrt verhält wie die Temperatur, bis zu welcher gleiche Gewichte derselben durch die nämliche Wärmemenge erwärmt werden, so muss sich die specifische Wärme des Wassers zu der des Quecksilbers verhalten, wie 77,1 zu 2,58. Die specifische Wärme des Wassers = 1 gesetzt, giebt für die des Quecksilbers $\frac{2,58}{77,1} = 0,033$, d. h. das Quecksilber enthält bei gleicher Temperatur 33 mal weniger Wärme als das Wasser.

Die Erkaltungsmethode (von Dulong und Petit angewendet) ist von den beiden vorhergehenden durchaus verschieden. Sie besteht darin, den bis auf eine bestimmte Temperatur erwärmten Körper im luftleeren Raume erkalten zu lassen. Das Erkalten tritt um so langsamer ein, je grösser die Wärmecapacität des zu untersuchenden Körpers ist. Die Zeit steht im geraden Verhältnisse mit der Capacität. Dulong und Petit brachten die Kugel eines kleinen Thermometers in ein Gefäss aus Silberblech, welches den zu untersuchenden Körper enthielt. Nachdem das Gefäss mit seinem Inhalte erwärmt worden war, wurde dasselbe in einem bleiernen Gefässe an Fäden aufgehangen, so dass die mit einer Scala versehenen Röhre des Thermometers durch den Deckel luftdicht hindurchging und nach aussen hervorragte. Während des Versuches befand sich die ganze Vorrichtung in einem Wasser- oder Oelbade, das auf einer constanten Temperatur erhalten wurde. Nachdem die Vorrichtung luftleer gemacht worden war, beobachtete man die Zeit, binnen der das Thermometer um eine gewisse Anzahl von Graden fiel. Die Zeit nun, welche die verschiedenen Körper bedurften, um sich abzukühlen, gestattet, die Quantität von Wärme zu berechnen, welche sie ausgeben.

Die Versuche über die specifische Wärme der Körper führten zu folgenden Resultaten. Die Capacität der Körper für die Wärme steht im umgekehrten Verhältnisse zu ihrer Dichte; die Capacität der Flüssigkeiten ist im Allgemeinen grösser als die der festen

Körper, ausgenommen hiervon ist das Quecksilber. Für eine und dieselbe Substanz richtet sich die specifische Wärme nach der Dichte und nach der Temperatur; sie ist um so geringer, je grösser die Dichte ist, und nimmt für höhere Temperaturen zu. So ist, nach Regnault, die specifische Wärme des schmiedbaren Kupfers 0,095, die des gehämmerten 0,093; für Holzkohle, Steinkohle und Diamant wurden die Werthe 0,2415, 0,2009 und 0,1469 gefunden. Dass die Wärmecapacität für höhere Temperaturen grösser als für geringere ist, geht aus folgender von Dulong und Petit aufgestellten Tabelle hervor:

Namen der Metalle.	Mittlere Capacität zwischen 0° und 100°	Mittlere Capacität zwischen 0° und 300°
Eisen	0,1098	0,1218
Quecksilber	0,0330	0,0350
Zink	0,0927	0,1015
Antimon	0,0507	0,0549
Silber	0,0557	0,0611
Kupfer	0,0949	0,1013
Platin	0,0335	0,0355

Der Unterschied ist jedoch so gering, dass man in den meisten Fällen und für Temperaturdifferenzen, die nicht zu gross sind, die specifische Wärme als constant ansehen kann. Bei Eisen, wo die Aenderung am grössten ist, beträgt die Zunahme von 100° bis auf 300° nur 0,012.

Beziehung zwischen specifischer Wärme und dem Atomgewichte der Körper. Dulong und Petit fanden, dass man stets eine constante Zahl erhält, wenn man das Atomgewicht eines einfachen Körpers mit seiner specifischen Wärme multiplicirt. Diese Physiker brachten dies in Zusammenhang mit der atomistischen Theorie und glaubten, dass die specifische Wärme den Atomen gleich sein müsste, oder mit anderen Worten, dass das Product aus dem Atomgewicht und der specifischen Wärme stets dasselbe sei. Durch Regnault's Untersuchungen ist nun festgestellt, ***dass die specifischen Wärmen der Elemente entweder gleich, oder aber Multipla nach ganzen Zahlen von der kleinsten specifischen Wärme sind.***

Nachstehende Tabelle enthält in der vierten Spalte die specifische Wärme der Aequivalente der Elemente, bezogen auf die zur Einheit angenommene specifische Wärme des Wassers, während

die in der zweiten Spalte enthaltenen Zahlen die specifischen Wärmen der Elemente für Gewichtsmengen ausdrücken, die sowohl unter einander, als mit der des Wassers gleich sind.

Elemente.	Spec. Wärme des Wassers = 1.	Aequivalent*).	Specifische Wärme der Aequivalente.
Antimon	0,0508	129	6,5532
Arsen	0,0814	75,2	6,1213
Blei	0,0314	103,8	3,2593
Brom	0,1350	78,4	10,5840
Diamant	0,1469	6	0,8814
Eisen	0,1138	28	3,1864
Gold	0,0324	199	6,4476
Graphit, nat.	0,2019	6	1,2114
Jod	0,0541	126	6,8166
Iridium	0,0368	98,7	3,6322
Kadmium	0,0567	55,8	3,1639
Kobalt	0,1070	29,6	3,1672
Kupfer	0,0951	31,8	3,8242
Mangan	0,1441	27,6	3,9772
Molybdän	0,0722	48	3,4656
Nickel	0,1086	29,6	3,2146
Palladium	0,0593	53,4	3,1666
Phosphor	0,1887	31,4	5,9250
Platin	0,0324	98 7	3,1979
Quecksilber	0,0333	101,4	3,3766
Sauerstoff	0,2361	8	1,8888
Schwefel	0,2026	16	3,2416
Selen	0,0837	40	3,3480
Silber	0,0570	108,1	6,1617
Stickstoff	0,2754	14	3,8556
Tellur	0,0515	64	3,2960
Wasserstoff	0,2936	1	3,2936
Wismuth	0,0308	106,4	3,2771
Zink	0,0955	32,2	3,0751
Zinn	0,0562	95	3,3158

Erklärung dieser Tabelle. Die beim Blei stehende Zahl 0,0314 bedeutet, dass, wenn die Menge der Wärme, die nothwendig ist, um eine gleiche Gewichtsmenge Wasser von 0° auf 1° zu erwärmen = 1 ist, die für das Blei 0,0314 sei; die Zahl 3,2593 aber drückt die Wärmemenge aus, die nothwendig ist, um 103,8 Gewichtstheile Blei von 0° auf 1° zu erwärmen. Hieraus geht hervor, dass diese Zahlen durch Multiplication der beiden vorhergehenden gefunden wurden.

*) Anmerkung. Es ist hier zuweilen die ältere Bestimmung des Atomgewichtes gegeben worden, da die stattgefundene Veränderung ohne allen Einfluss auf das aufgestellte Gesetz ist.

Für die specifische Wärme zusammengesetzter Substanzen gilt dasselbe Gesetz, wie für die specifische Wärme einfacher Körper, und so unvollständig die specifische Wärme der Aequivalente verschiedener Verbindungen untersucht worden ist, lässt sich doch erkennen, dass die specifische Wärme der Aequivalente der Verbindungen Multipla von der kleinsten derselben nach den ersten Gliedern der Reihe der natürlichen Zahlen sind (Regnault und Neumann). An das Vorstehende schliesst sich die Entdeckung Schröder's, dass in vielen Fällen die specifische Wärme eines zusammengesetzten Körpers gleich ist der Summe der specifischen Wärme seiner Bestandtheile in demjenigen Condensationszustande, in welchem sie in der Verbindung vorkommen.

Die Bestimmung der specifischen Wärme gasförmiger Körper wird ausgeführt, indem man, nach Delaroche und Becard, das getrocknete Gas, nachdem es in einem mit siedendem Wasser umgebenen Rohre bis auf 100° erwärmt worden ist, durch ein in Wasser liegendes Schlangenrohr leitet. Ein Thermometer giebt die Temperatur an, mit der das Gas in das Schlangenrohr einströmt; ein zweites Thermometer die Temperatur des Gases beim Ausströmen. Die Temperatur des Wassers wurde durch ein Thermometer beim Anfange und am Ende des Versuchs bestimmt. Die Temperatur ist natürlich um so höher, je mehr Wärme das Gas dem Wasser zuführt. Da aber in gleichen Zeiten gleiche Volumen Gas durch das Rohr streichen, so müssen bei verschiedenen Gasen die Temperaturerhöhungen des Wassers den Wärmemengen proportional sein, die gleiche Volumen der verschiedenen Gase an das Wasser abgeben. Die Capacitäten derselben verhalten sich direct wie jene der Wärmemengen.

Die Resultate der Versuche von Delaroche und Becard finden sich in folgender Tabelle:

Namen der Gase.	Capacität für gleiche Vol.	Capacität für gleiche Gewichte.	
		Luft = 1.	Wasser = 1.
Atmosphärische Luft	1,000	1,000	0,267
Sauerstoff	0,976	0,885	0,236
Wasserstoff	0,903	12,340	3,294
Stickstoff	1,000	1,032	0,275
Kohlenoxyd	1,034	1,080	0,288
Stickstoffoxydul	1,350	0,888	0,237
Kohlensäure	1,258	0,828	0,221
Oelbildendes Gas	1,553	1,576	0,421
Wasserdampf	1,960	3,136	0,847

Die Wärmecapacität des Wasserdampfes ist kleiner, als die eines gleichen Gewichtes Wasser, woraus folgt, dass die specifische Wärme eines Körpers durch seinen physikalischen Zustand geändert werden kann. Becard und Delaroche beobachteten, dass die Capacität eines Gases durch Verdünnung zunehme. Verdoppelt man das Volumen eines Gases dadurch, dass man den Druck auf die Hälfte reducirt, so wird die specifische Wärme nicht doppelt so gross. Darin liegt die Ursache, warum ein Gas bei der Ausdehnung sich abkühlt; im ausgedehnten Zustande bedarf es mehr Wärme, um auf der früheren Temperatur zu bleiben, weil die Capacität zugenommen hat. Wenn atmosphärische Luft um ein gleiches Volumen ausgedehnt wird, so sinkt die Temperatur um 22 — 25°. Die Temperatur nimmt um einen gleichen Betrag zu, wenn man das Volumen der Luft auf die Hälfte reducirt. Drückt man die Luft in einem Cylinder durch einen Stempel schnell auf ein kleines Volumen zusammen, so wird eine Wärmemenge frei, die hinreichend ist, um leicht entzündliche Substanzen zu entzünden.

Die Mittheilung der Wärme durch Leitung und Strahlung.

Es ist bekannt, dass die Wärme sich auf ähnliche Weise wie das Licht fortpflanzt. Ein erwärmter Körper sendet nach allen Richtungen hin Strahlen aus, welche, wenn sie mit andern Körpern in Berührung kommen, wieder Wärme erregend wirken. Weil sich nun die Wärme jedes Körpers rings um denselben nach geraden Linien verbreitet, spricht man von Wärmesrahlen. Man nennt deshalb auch die Wärme, insofern sich dieselbe, die Luft und andere Medien durchdringend, frei im Raume fortpflanzt, strahlende Wärme, und unterscheidet dieselbe von der an den Körpern haftenden, zum Theil nicht durch das Thermometer nachweisbaren, zum Theil innerhalb der Körper sich verbreitenden und die Temperatur und das Volumen derselben ändernden Wärme; die erstere heisst die gebundene (latente), die letztere die geleitete Wärme.

Die Wärmeleitung. Die Wärmemenge, die in einer bestimmten Zeit durch einen bestimmten Querschnitt eines Körpers hindurchgeht, ist abhängig von der Natur des Körpers. Die Fähigkeit desselben, die Wärme in seinem Innern mit einer gewissen Geschwindigkeit fortzupflanzen, nennt man seine Wärmeleitungsfähigkeit. Je nachdem diese Geschwindigkeit in verschiedenen Körpern relativ gross oder gering ist, nennt man jene Körper gute oder schlechte Wärmeleiter. Einen Körper, welcher die

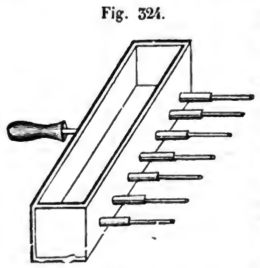
Wärme in seinem Innern nicht fortpflanzt, also für dieselbe un-undurchdringlich und mithin ein Nichtleiter wäre, giebt es nicht.

Bei festen Substanzen ist die Erscheinung der Wärmeleitung so allgemein bekannt, dass nur wenig darüber noch zu sagen übrig bleibt. Hinsichtlich ihrer Fähigkeit, Wärme zu leiten, weichen sie aber sehr von einander ab. Dichte und schwere Körper sind im Allgemeinen gute Leiter, während poröse und leichte Körper die Wärme unvollkommen leiten.

Unter den Körpern, die man zu den guten Leitern rechnen muss, sind die Metalle zu erwähnen; unter den schlechten Holz, Wachs, Glas und überhaupt die meisten organischen Körper. Um sich davon zu überzeugen, braucht man nur einen Holzstab und einen Metallstab von gleicher Länge und Dicke ins Feuer zu bringen, und sodann an dem andern Ende zu berühren. Man findet dann, dass das Metall ein guter Wärmeleiter ist. Da poröse und leichte Körper die Wärme schlecht leiten, so erklärt sich die allgemeine Anwendung derselben zu Kleidungsstücken. Rumford fand, dass, aus je feinerer Wolle die Kleidung bestehe, sie desto unvollkommener die Wärme leite. Die Eiderdunen leisten in Bezug auf geringe Wärmeleitungsfähigkeit das Meiste. Schlechte Wärmeleiter sind am meisten geeignet, Körper warm oder kalt zu erhalten; damit Eis nicht schmelze, wickelt man dasselbe im Sommer in Flanell ein; damit eine erwärmte Stube nicht kalt werde, bringt man um dieselbe eine Lufthülle an, wie dies bei den Doppelthüren und Doppelfenstern der Fall ist. Der Schnee ist ein schlechter Wärmeleiter, daher kommt es, dass mit demselben bedeckte Pflanzen im Winter nicht erfrieren.

Um die Leitungsfähigkeit fester Körper mit einander zu vergleichen, benutzte Ingenhauss folgenden Apparat (Fig. 324). Es wurde heisses Wasser in einen aus dünnen Metallplatten bestehenden Kasten gegossen, an dessen einer Seitenwand die verschiedenen zu untersuchenden Körper (Silber, Kupfer, Eisen, Glas, Holz u. s. w.) in Form von Stäbchen angebracht waren. Die Stäbchen waren mit Wachs überzogen. Indem sich nun die Wärme des Wassers den Stäbchen mittheilte, schmolz das Wachs von den Stäbchen ab. Je besser nun die Substanz des Stäbchens die Wärme leitete, desto weiter fand sich das Wachs abgeschmolzen.

Fig. 324.



Wichtige Anwendungen von der schlechten Leitungsfähigkeit gewisser Körper macht man bei der Construction von Oefen, bei welchen man häufig eine Lage von Kohlenpulver zwischen die Ziegel bringt. In den sogenannten feuerfesten

Geldschränken sind die Zwischenwände mit Asche ausgefüllt. Pulverkammern auf Schiffen baut man aus sogenannten schwimmenden Ziegelsteinen; selbst bei ausbrechendem Feuer wird das Pulver durch die schlechte Leitungsfähigkeit dieser Steine vor der Entzündung bewahrt.

Um die Leitungsfähigkeit fester Körper genau zu bestimmen, nahm Despretz vierseitige Stäbe der verschiedenen Körper, die gleiche Gestalt und gleiche Grösse besassen, und brachte in dieselben von Decimeter zu Decimeter gleich tiefe Löcher an, die er mit Quecksilber anfüllte und Thermometer anbrachte. Den Oberflächen aller Stäbe hatte man durch Ueberziehen mit Russ ein gleiches Wärmeausstrahlungsvermögen gegeben. Wurde nun das eine Ende des Stabes so lange erhitzt, bis alle Thermometer stationär geworden waren, so las man die Thermometerabstände ab. Das Thermometer, das der Wärmequelle zunächst war, hatte begreiflicher Weise den höchsten Stand. Aus den Temperaturen an den verschiedenen Stellen des Stabes lässt sich nun die Wärmeleitungsfähigkeit desselben berechnen, da man weiss, dass die Temperatur des Stabes von der Wärmequelle aus in einer geometrischen Reihe abnimmt, wenn die Entfernungen von derselben in einer arithmetischen Reihe zunehmen. Auf diese Weise fand Despretz folgende Zahlen:

Gold	1000	Zinn	203,9
Platin	981	Blei	179,6
Silber	973	Marmor	23.6
Kupfer	898	Porcellan	14,2
Eisen	374,3	Thon	11,4.
Zink	363		

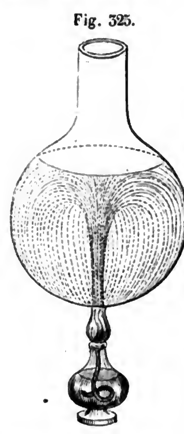
Zur Bestimmung der Leitungsfähigkeit weniger guter Leiter dient das Contactthermometer von Fourier, das aus einem kegelförmigen Gefässe von dünnem Eisenblech besteht, dessen Boden durch weiches Leder gebildet wird. Das Gefäss ist mit Quecksilber angefüllt, in welches ein empfindliches Quecksilberthermometer gesteckt wird. Der Körper, dessen Leitungsfähigkeit untersucht werden soll, muss die Form einer dünnen Platte haben; man legt diese während des Versuches auf eine Unterlage von Marmor oder Metall, erhitzt das Thermometer bis auf 46 — 47°, stellt es in dem Augenblicke, in welchem es bis auf 45° herabgesunken ist, in den Körper, und beobachtet die Zeit, in welcher es auf bestimmte Grade herabsinkt.

Noch ist bei der Leitung der Wärme in festen Substanzen zu erwähnen, dass nach Sénarmont's Untersuchungen die Wärmeleitungen in Krystallen nach Richtungen, welche eine ungleiche

Neigung gegen die Krystallaxe haben, verschieden ist, und dass etwas Aehnliches bei Substanzen stattfindet, deren homogener Molekularzustand durch Pressen, Ziehen oder Härten verändert ist.

Die Wärmeleitung tropfbarflüssiger Substanzen und Gase geht meist vor sich durch die Bewegung der Theilchen. Lässt man auf den unteren Theil einer Flüssigkeit Wärme einwirken, so werden die erwärmten Theilchen leichter und steigen empor; an ihre Stelle treten nun kalte Theilchen, die sich erwärmen, u. s. f. Die Circulation der Flüssigkeit lässt sich besonders gut beobachten, wenn man unter das Wasser, das sich in einem Glasballon (Fig. 325) befindet, Sägespäne, Bernsteinpulver oder einen ähnlichen Körper mischt, und von unten langsam erwärmt; man bemerkt eine Strömung, welche in der Mitte aufwärts und an den Wänden des Glasgefässes abwärts geht. Diese Strömungen lassen sich auch sichtbar machen, wenn man ein cylindrisches Glas mit rundem Boden bis zur Hälfte mit Wasser füllt, das durch Lakmus blau gefärbt worden ist, und darauf vorsichtig reines Wasser giesst, so dass beide Flüssigkeiten sich nicht vermischen. Erhitzt man hierauf die eine Hälfte des Bodens des Gefässes langsam, so bemerkt man deutlich, dass auf einer Seite das blaue Wasser aufsteigt, während auf der andern Seite das ungefärbte niedersinkt.

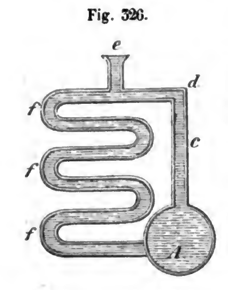
Fig. 325.



Die ausserordentlich geringe Wärmeleitungsfähigkeit wird erwiesen, wenn man ein cylindrisches Gefäss mit Wasser füllt, in dieses ein Thermometer umgekehrt so einsetzt, dass dessen Kugel nur eine Linie unter die Oberfläche des Wassers eingetaucht ist, dann etwas Aether auf das Wasser giesst und anzündet; der Aether wird längere Zeit fortbrennen, ehe das Thermometer zu steigen anfängt.

Wegen der hohen specifischen Wärme benutzt man das heisse Wasser zur Heizung, die man Wasserheizung nennt. Zu diesem Zwecke lässt man erhitztes Wasser in starken gezogenen eisernen Röhren von ungefähr einem Zoll Durchmesser in einem Zimmer, oder in Wohnhäusern und öffentlichen Gebäuden so circuliren, dass der erkaltete Theil abfliesst, und neuerwärmtes ununterbrochen zuströmt. Das Princip dieser Circulation wird aus Fig. 326 deutlich. Die Erwärmung des Wassers geschieht im Gefässe A; die darin befindlichen Wasserschichten

Fig. 326.



dehnen sich aus und steigen in dem Rohre nach *c* und endlich nach *d*. In demselben Verhältnisse fliesst aber Wasser aus *ff* nach. Dieses Spiel dauert so lange, als noch in den verschiedenen Theilen des Wassers ein Temperaturunterschied vorhanden ist; es wird aber niemals aufhören, wenn das aufsteigende warme Wasser unterwegs abgekühlt und der Temperaturunterschied forterhalten wird. Ein kleiner Verlust von Wasser findet dabei statt, so dass man von Zeit zu Zeit durch die mit einem Stopfer verschlossene Oeffnung *e* am oberen Theile der Röhre etwas Wasser nachfüllen muss.

Atmosphärische Luft und Gase sind sehr schlechte Wärmeleiter; die Wärme wird auf dieselbe Weise wie bei den Flüssigkeiten fortgepflanzt; die erwärmten und leichter gewordenen Theilchen steigen in die Höhe und verbreiten die Wärme durch die ganze Masse. Dass sich Strömungen bei der Erwärmung der Luft erzeugen, sieht man an den Bewegungen des von der Luft mit fortgerissenen Staubes im Lichtstrahl, das Aufsteigen der erhitzen Luft in der Nähe eines Ofens.

Auf diesem Aufsteigen der erwärmten Luft beruht die Luftheizung, bei welcher die Luft an einem besonderen Orte, in einem tiefer gelegenen Theile des Hauses erwärmt und dann durch Leitungsröhren in die verschiedenen Zimmer vertheilt wird. — Körper, die von Luft umgeben sind, können nur sehr langsam erkalten, daher mag es wohl auch zum grossen Theile kommen, dass lockere Körper, die in ihren Zwischenräumen viel Luft enthalten, die Wärme so schecht leiten. In trockener Luft kann der Mensch eine Temperatur von 120° ohne Beschwerde ertragen, sobald er nicht mit guten Wärmeleitern in Berührung kommt.

Ausstrahlung der Wärme. Die Wärmestrahlung ist von der Wärmeleitung gänzlich verschieden, indem sie nicht nur mit ungleich grösserer Geschwindigkeit erfolgt, sondern auch in die Ferne wirkt, ohne die dazwischen liegenden Theilchen zu erwärmen und ohne von der Temperatur derselben abhängig zu sein. Die Bewegungsgesetze für die strahlende Wärme sind denen für das Licht ganz analog.

Das Factum, wodurch sich das Vorhandensein der strahlenden Wärme am deutlichsten kundgiebt, ist die Wärme, welche Feuer, ein geheizter Ofen u. s. w. um sich verbreiten, wenn auch die umgebende Luft sehr kalt ist. Diese Wärme unterscheidet sich sehr gut von derjenigen, welche die Luft selbst besitzt. Vor der ersteren können wir uns schützen, indem wir zwischen die Wärme-

quelle und uns einen Schirm bringen; vor der letzteren aber nicht. Die Wärmestrahlen verbreiten sich durch den lufterfüllten Raum wie die Lichtstrahlen. Nähert man ein empfindliches Thermometer einem Feuer, so steigt das Quecksilber, selbst wenn die dazwischen liegende Luft noch nicht erwärmt ist. Das Steigen hört aber sogleich auf, sobald man zwischen das Feuer und das Thermometer einen Schirm bringt; daraus folgt, dass das Steigen des Quecksilbers nicht durch eine Erwärmung der umgebenden Luft bewirkt worden ist.

Wenngleich die strahlende Wärme ein häufiger Begleiter des Lichtes ist, so ist sie doch mit dem letzteren nicht identisch; denn es giebt Körper, an welchen wir selbst in der grössten Dunkelheit keine Lichtentwickelung wahrzunehmen im Stande sind, die jedoch reichliche Wärmestrahlen aussenden. Eine andere Frage aber wäre die, ob die Wärme von dem Lichte nicht etwa nur dem Grade nach verschieden sei, nämlich auf Aetherschwingungen von anderer Oscillationsdauer beruhe, als diejenigen sind, welche die Netzhaut des Auges zu afficiren vermögen?

Die hauptsächlichsten Beobachtungen, die wir über die strahlende Wärme kennen, wurden 1804 von Leslie bekannt gemacht. Dieser Physiker fand, dass der Betrag der Abkühlung eines erhitzten Körpers mehr abhängig ist von der Beschaffenheit der Oberfläche, als von der Natur seiner Substanz. Leslie füllte eine Zinnkugel mit glänzender Oberfläche mit heissem Wasser und beobachtete die zur Abkühlung erforderliche Zeit in einem Zimmer, dessen Luft sich nicht bewegte. Ein in das Wasser gestelltes Thermometer zeigte in 155 Minuten die Hälfte der Temperatur des Zimmers. Die Kugel wurde sodann mit Lampenruss überzogen und der Versuch wiederholt; das Thermometer fiel nun in 81 Minuten auf die nämliche Temperatur, so dass die Schnelligkeit durch eine Veränderung der Oberfläche sich fast verdoppelt hatte.

Rumford liess Wasser von gleicher Temperatur in zwei gleichen messingenen Cylindern sich abkühlen; der eine war unbekleidet, der andere mit Leinwand überzogen. Das überzogene Gefäss kühlte sich ab um 10° in 36,5 Minuten, während das unbekleidete Gefäss 55 Minuten zu derselben Abkühlung brauchte.

Um die strahlende Wärme nachzuweisen und zu messen bedient man sich folgender Instrumente. Leslie benutzte ein vierseitiges Gefäss von Zinn, dessen Oberfläche verschiedenartig bekleidet war, und das mit heissem Wasser gefüllt wurde. Die bekleidete Seite des Gefässes war einem Hohlspiegel zugewendet, der die auf ihn fallenden Wärmestrahlen in seinem Brennpunkte vereinigte, in dem sich die Kugel eines Luftthermometers (siehe

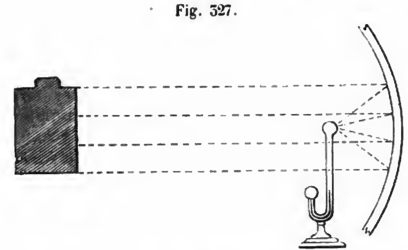


Fig. 327.

Seite 440) befand (Fig. 327). — Ebenso lassen sich auch zwei metallene Hohlspiegel *AB* (Fig. 328), die so einander gegenüber gestellt sind, dass die Hauptaxen in derselben Linie liegen, zu Versuchen über Ausstrahlungsvermögen der Körper benutzen. Man bringt in den Brennpunkt *a* des einen Spiegels eine brennende Lampe oder einen erhitzten Körper, hängt in dem andern hingegen ein Thermometer auf, so wird man, ohne die Erwärmung im Mittelpunkte zwischen den beiden Spiegeln wahrzunehmen, doch bald das von dem heissen Gegenstande entferntere Thermometer steigen sehen, weil die von dem erhitzten Körper ausstrahlende Wärme durch den einen Spiegel aufgefangen, von da gegen den andern Brennspiegel geworfen und in dessen Brennpunkt, in welchem sich das Thermometer befindet, vereinigt werden. — Bringt man in den Brennpunkt des einen Spiegels ein Stück Eis, in den Brennpunkt des andern die Kugel eines Differentialthermometers, so zeigt das letztere eine Temperaturabnahme.

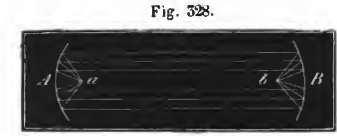


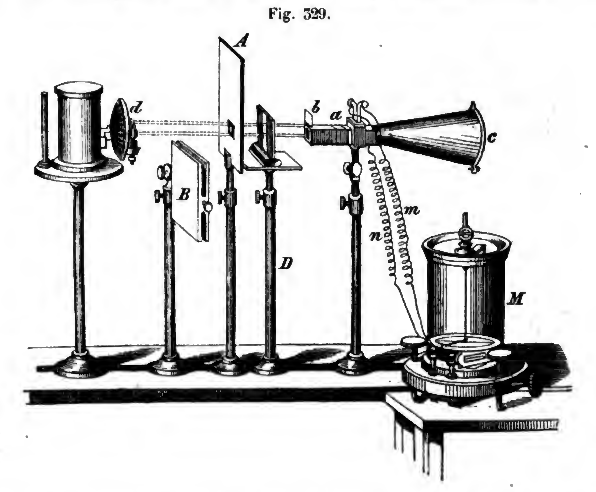
Fig. 328.

In Folge dieser Versuche nahmen früher einige Physiker an, dass ausser dem Wärmestoff noch ein Kältestoff existire, der dem Wärmestoff in seinem Wesen ganz entgegengesetzt, aber ebenfalls der Strahlung fähig sei. Sehr einfach erklärt sich aber diese Erscheinung durch den Satz: „Wenn in den einen Brennspiegel ein wärmerer, in den andern ein kälterer Körper gebracht wird, so wird der wärmere Körper Wärme ausstrahlen, der kältere hingegen absorbiren“; denn man sieht leicht, dass beide Versuche in der That auf einen hinaus laufen, mit dem Unterschiede jedoch, dass bei dem einen der erhitzte Körper, bei dem andern das Thermometer den wärmeren, und ferner bei dem einen das Thermometer, bei dem andern das Eis den kältern Körper vorstellt.

Der empfindlichste Apparat zum Messen der strahlenden Wärme ist der Thermomultiplicator von Melloni, der sich auf die schon früher betrachtete Thermoelektricität (s. S. 306 u. 309)

gründet. In einem, aus Metallen gebildeten, geschlossenen Kreise entsteht sogleich ein elektrischer Strom, sobald irgend eine Verbindungsstelle beider Metalle erwärmt oder erkältet wird. Dieser Strom macht sich bemerklich durch die Ablenkung, die eine Galvanometernadel erfährt, wenn man in eine gewisse Entfernung über oder unter dieselbe den Strom bringt. Die Ablenkung der Nadel ist im Allgemeinen proportional der Temperaturdifferenz der Löthstellen. Man verstärkt die Wirkung bedeutend, wenn man eine Thermosäule (s. S. 308) anwendet. Der von Melloni angewendete Apparat hat folgende Einrichtung. Die Pole von dreissig in eine messigene Hülse *a* (Fig. 329) eingeschlossenen Paaren von

Fig. 329.



Stäben von Antimon und Wismuth stehen durch die Drähte *n* und *m* mit dem Multiplicator *M* in Verbindung. Setzt man nun die Enden der Stäbe bei *b* einer Quelle strahlender Wärme, z. B. den Strahlen einer Lampe *d* aus, während die Temperatur der entgegengesetzten Enden der Stäbe unverändert bleibt, so geht ein elektrischer Strom von den Polen aus durch die Drähte, und bewirkt eine Ab-

30 *

lenkung der Magnetnadel. Die Ablenkung derselben ist der Menge der strömenden Elektricität, also auch der Wärme, proportional. Melloni fand wenigstens diese Uebereinstimmung durch den ganzen Gradbogen von 0—20°, wenn die Magnetnadel genau astatisch war. *A* ist ein Schirm mit einer Oeffnung, um nur einem Strahlenbündel den Durchgang zu gestatten; *B* ein Schirm von zwei Metallplatten, um die Wärmestrahlen in jedem Augenblicke von der Thermosäule abhalten zu können, und *D* ein Tischchen, auf welches der zu untersuchende Gegenstand gestellt wird.

Das Wärmestrahlungsvermögen der verschiedenen Körper ist sehr ungleich und abhängig von dem Zustande der Oberfläche. Verschiedene Substanzen strahlen die Wärme bei gleicher Temperatur in ungleichem Grade aus. Das Ausstrahlungsvermögen wächst mit der Temperatur und ist von der Temperatur der umgebenden Luft ganz unabhängig. Weniger dichte Körper strahlen im Allgemeinen mehr Wärme aus, als dichtere. Bei einer bestimmten Substanz ist das Wärmeausstrahlungsvermögen abhängig sowohl von der Beschaffenheit der Oberfläche, als von der Dicke. Eine Veränderung der Oberfläche durch Ritzen, Hämmern, Poliren u. s. w. influirt auf das Ausstrahlungsvermögen nur in sofern, als Härte und Dichte geändert werden. Dieses Vermögen nimmt zu oder ab, je nachdem die Substanz durch das Ritzen aufgelockert oder verdichtet wird. So strahlt z. B. eine gegossene Metallplatte mehr Wärme aus, als eine gehämmerte oder gewalzte, und umgekehrt wird durch Ritzen der Oberfläche einer gehämmerten polirten Platte das Strahlungsvermögen erhöht. Dieses Vermögen nimmt auch zu mit wachsender Dicke der ausstrahlenden Schicht.

Melloni bestimmte das Ausstrahlungsvermögen verschiedener Körper durch die Grösse der Ablenkung der Magnetnadel; er fand Kienruss = 100, Bleiweiss = 100, Hausenblase = 91, Tusche 85, Gummilack = 72, Metall = 12.

Bei einer Arbeit über die Thaubildung hat Melloni das Ausstrahlungsvermögen einiger Körper gemessen, indem er die metallischen Hüllen von Thermometern damit überzog, und folgende Zahlenwerthe gefunden: Russ = 100, Silber = 3,026, Bleiweiss = 99, Firniss = 97, Hausenblase = 96, Glas = 93, Graphit = 86, Blätter = 103—101, Sägespäne = 99—95, Kieselsand = 93.

Reflexion der strahlenden Wärme. Die Wärmestrahlen werden an der Oberfläche der Körper nach demselben Gesetze reflectirt, wie die Lichtstrahlen; der reflectirte Strahl bleibt in der Einfallsebene und der Reflexionswinkel ist dem Einfallswinkel gleich.

Brechung der strahlenden Wärme. Körper, welche den Wärmestrahlen den Durchgang gestatten, werden diathermane

genannt, solche, welche die Wärmestrahlen aufhalten, athermane. Fallen Wärmestrahlen auf einen diathermanen Körper, so werden sie an der Grenzfläche des Körpers auf ähnliche Weise wie Lichtstrahlen gebrochen. Die Erfahrung hat unter den diathermanen Körpern das Steinsalz als denjenigen kennen gelehrt, der sich in Bezug auf die Leichtigkeit, mit welcher er die Wärmestrahlen hindurchlässt, sich gegen diese Strahlen so verhält, wie Glas gegen das Licht. Von der Brechung der Wärme überzeugt man sich nun, wenn man Wärmestrahlen durch ein Prisma von Steinsalz gehen lässt und mit Hülfe einer Thermosäule die Richtung der austretenden Strahlen untersucht. Dadurch macht man die Beobachtung, dass, wenn die Strahlen der Wärmequelle nicht direct zur Thermosäule gelangen können, dies durch die Dazwischenkunft des Steinsalzprismas ermöglicht werden kann. Verfertigt man aus Steinsalz eine Sammellinse, so werden die Wärmestrahlen durch dieselbe im Focus concentrirt. Wenn man die Ablenkung der Lichtstrahlen mit jener der Wärmestrahlen, unter sonst gleichen Umständen, vergleicht, so findet man, dass die letzteren im Allgemeinen durch Brechung mehr abgelenkt werden, als die ersteren.

Lässt man die Wärmestrahlen der Sonne durch ein Prisma von Steinsalz gehen, so findet sich nach der zweimaligen Brechung die Wärme ausgebreitet, und man erhält ein Wärmespectrum, woraus hervorgeht, dass die Sonnenwärme Elemente von sehr verschiedener Brechbarkeit enthält, und dass der Ort der grössten Wärme noch etwas jenseits der rothen Strahlen liegt. Seebeck's Versuchen zufolge ist dieser Ort von der chemischen Natur der Substanz, aus der das Prisma besteht, abhängig; so ist dieser Ort bei einem Prisma aus Crownglas und weissem Glase im vollen Roth, in Flintglasprismen hingegen jenseits des Roth ausserhalb des Farbenbildes, in Wasser-, Alkohol- und Terpentinölprismen in Gelb, in mit Salmiak gefüllten Prismen zwischen Gelb und Roth.

Melloni bezeichnet die Eigenschaft der Körper, gewisse Wärmestrahlen vorzugsweise durchzulassen, andere hingegen vorzugsweise zu absorbiren, mit dem Namen Diathermansie; sie entspricht offenbar der Färbung in Bezug auf die Lichtstrahlen.

Melloni hat in Beziehung auf die Diathermansie folgende Sätze nachgewiesen: 1) Das Vermögen der Körper, Wärmestrahlen hindurchzulassen, steht in keiner Beziehung zur Durchsichtigkeit derselben, so dass undurchsichtige Körper, wie schwarzes Glas und schwarzer Glimmer dennoch eine merkliche Wärmemenge hindurch lassen; durchsichtige hingegen, wie Alaun, sie fast vollständig zurückhalten. 2) Für dieselbe Substanz ist die durchgelassene Wärmemenge, wie bei dem Lichte, desto grösser, je glatter die Oberfläche ist. 3) Drin-

gen Wärmestrahlen allmählich durch immer grössere Schichten derselben Substanz, so verringern sich die Verluste sehr schnell in dem Masse, als die Dicke der Substanz um eine constante Grösse zunimmt. 4) Dringen Wärmestrahlen aus einer und derselben Quelle nach einander durch verschiedene diathermane Körper, so werden sie in stärkerem Masse absorbirt, als wenn sie nach einander durch gleichartige Substanzen gehen, gerade so wie Licht, das nach einander durch verschieden gefärbte Substanzen hindurchgeht, eine weit grössere Verdunkelung zeigt, als nach den Wirkungen der Platten einzeln zu erwarten war. 5) Wärme verschiedenartiger Quellen, welche direct gleiche Temperaturerhöhung hervorbringt, wird von denselben Medien in ungleichem Verhältnisse absorbirt. 6) Die Rolle farbloser Körper für das Licht übernimmt in Bezug auf die Wärmestrahlen das Steinsalz, dass von den Strahlen aller Wärmequellen in gleichem Masse durchdrungen wird. 7) Bei dem Eintritte der Wärmestrahlen in eine diathermane Substanz und bei dem Austritte aus derselben erfahren die Wärmestrahlen eine Reflexion, im ersten Falle eine äussere, im zweiten Falle eine innere. 8) Bei dem Uebergange der Wärme aus einem diathermanen Mittel in ein anderes werden die Wärmestrahlen gebrochen.

Melloni hat mehrere Körper auf ihre Fähigkeit, Wärmestrahlen durchzulassen, für verschiedene Wärmequellen geprüft, nämlich für die Strahlen einer Locatelli'schen Lampe (A), einer glühenden Platinspirale (B), eines geschwärzten, auf 400° erhitzten Kupferblechs (C) und eines geschwärzten, bis auf 100° erwärmten Messingblechs; die Resultate seiner Versuche sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

	A.	B.	C.	D.
Freie Strahlung der Wärmequelle	100	100	100	100
Steinsalz	92	92	92	92
Flussspath, klar und farblos	78	69	42	33
Kalkspath	39	28	6	0
Spiegelglas	39	24	6	0
Bergkrystall	38	28	6	0
Gyps, krystall.	14	5	0	0
Citronensäure	11	2	0	0
Alaun	9	2	0	0
Schwarzes Glas, 1 Millimeter dick	26	25	12	0
Schwarzer Glimmer, 0,9 Millimeter dick	20	20	9	0
Eis	6	0	0	0

Nach Pouillet's Vorschlage könnte man die Diathermansie auch mit dem Namen Thermanismus bezeichnen; die Körper aber, welchen diese Eigenschaft zukommt, thermanisirende nennen. Thermanisirte Wärmestrahlen wären demnach solche, welchen dadurch, dass sie einen thermanisirenden Körper durchdrungen haben, gleichsam eine Wärmefärbung, wie den Lichtstrahlen, indem sie durch farbige Gläser gehen, eine bestimmte Farbe ertheilt wird.

Knoblauch zog aus seinen Versuchen über den Durchgang der strahlenden Wärme durch diathermane Körper folgenden

Schluss: der Durchgang derselben steht (entgegengesetzt dem Ergebniss früherer Versuche) nicht im directen Zusammenhange mit der Temperatur ihrer Quelle, sondern hängt nur von der Beschaffenheit der diathermanen Substanzen ab, welche von gewissen Wärmestrahlen in höherem Grade, als von anderen durchdrungen werden. Die Erwärmung der dem Durchgange der strahlenden Wärme entgegengesetzten Körper richtet sich bei gleicher Intensität der emittirenden Quelle allein nach der Natur und Dicke der absorbirenden Substanzen, welche für gewisse Strahlen empfänglicher als für andere sich erweisen. Auf die Versuche Knoblauch's sich stützend, kann man den Satz ableiten, dass diathermane Körper durch die Strahlen, von denen sie am wenigsten durchdrungen werden, die meiste Erwärmung erfahren.

Die Diffusion oder die Zerstreuung der Wärme durch Zurückwerfung ist im Allgemeinen an der Fläche eines und desselben Körpers für verschiedene Wärmequellen nicht gleich. Metalle zerstreuen die Wärme aller Quellen gleich stark, und da dieselben auch alle Strahlen gleich gut, wenn auch nicht in hohem Grade, absorbiren, vielmehr die meisten zerstreuen, so verhalten sie sich gegen Wärme, wie weisse Körper gegen das Licht. Die Wärmefarbe der zerstreuten Strahlen ist im Allgemeinen von derjenigen der directen oder einfallenden Wärme verschieden. Die Aenderung der Wärmefarbe durch Diffusion ist unabhängig von der Rauhheit der Flächen, wohl aber abhängig von der Natur der Wärmequelle. Am grössten ist sie für die Argand'sche Lampe, kleiner für glühendes Platin, noch kleiner für die Alkoholflamme und Null für die Wärme eines erhitzten Eisencylinders bei jeder Temperatur zwischen 24—112°. Die Veränderungen der Wärme bei diffuser Reflexion sind die Folge einer auswählenden Absorption der reflectirenden Flächen für gewisse, ihnen zugesendete Wärmestrahlen, und bringen Erscheinungen hervor, die denen analog sind, die wir bei der Diffusion der Lichtstrahlen beobachten.

Die Polarisation der strahlenden Wärme. Die bisher besprochenen Modificationen der strahlenden Wärme beziehen sich meist auf die Richtung und die Intensität; man kennt aber auch eine andere Modification, nämlich die Polarisation. Die Mittel, welche man anwendet, um Licht zu polarisiren, benutzt man auch zur Polarisirung der Wärmestrahlen. Melloni hat darauf bezüglich zahlreiche Versuche angestellt. Er benutzte zu diesem Zwecke eine metallene Röhre, an deren Ende ein drehbarer Ring befindlich war. In einem jeden dieser Ringe befand sich eine Säule von dünnen Glimmerplättchen, die so auf einander lagen, dass die Rich-

tung der optischen Axe für alle die nämliche war. Die Wärmequelle befand sich im Brennpunkte einer Linse aus Steinsalz, durch welche parallele Wärmestrahlen auf die eine Säule geleitet wurden, während die andere sich der Thermosäule zugekehrt befand. So oft die Einfallsebenen beider Säulen mit einander parallel waren, ging die meiste Wärme hindurch, die wenigste hingegen, wenn die Einfallsebenen eine gekreuzte Lage zu einander einnahmen. Bei einer Säule von 120 dünnen Plättchen tritt das Maximum der durchgehenden Wärme bei einem Einfallswinkel von $33\frac{1}{2}^0$ ein, bei einem Winkel also, welcher dem der vollkommenen Polarisation des Lichtes gleich ist. Sind die Plättchen in grösserer Anzahl vorhanden, so ist die Quantität der im Maximo durchgehenden Strahlen weit geringer und erfolgt bei einem kleineren Einfallswinkel. Anstatt die Strahlen durch die Glimmersäule zu leiten, kann man sie auch von einer solchen unter dem Polarisationswinkel reflectiren lassen; die von der zweiten Säule durchgelassenen Strahlen erreichen ihr Maximum, wenn die Einfallsebenen beider Säulen auf einander senkrecht stehen, das Minimum hingegen, wenn beide Ebenen einander parallel sind. Die Wärme wird daher sowohl durch Brechung, als auch durch Reflexion polarisirt. Wenn man zwischen die beiden Säulen ein dünnes Gyps- oder Glimmerplättchen bringt, so dass es die die erste Säule verlassenden Wärmestrahlen senkrecht trifft, so erleidet die Wärme bei der Drehung ähnliche Modificationen wie das Licht, so dass wir daraus den Schluss ziehen können, dass die Wärme auch durch doppelte Brechung polarisirt werde.

Ein rhombisches Prisma aus Steinsalz kann einen polarisirten Wärmestrahl durch doppelte Reflexion auch kreisförmig polarisiren. Es ist sogar eine Drehung der Polarisationsebene eines Wärmestrahles durch eine senkrecht auf die Krystallaxe geschnittene Bergkrystallplatte bemerkt worden; man hat hier sogar den Gegensatz beobachtet, der sich bei sogenannten rechten und bei linken Krystallen dieser Art zu erkennen giebt.

Die Analogie im Verhalten der Licht- und Wärmestrahlen hat sich noch in keiner Weise verläugnet; so hat man auch eine Einwirkung des Magneten auf die Polarisationsebene der Wärmestrahlen beobachtet, wie sie von Faraday bezüglich des Lichtes gefunden worden ist.

Um die Interferenz der Wärmestrahlen nachzuweisen, sind von Seebeck die Frauenhofer'schen Gitterspectra benutzt worden; es wurde Sonnenlicht mittelst eines belegten Glasspiegels durch eine 1,25 breite Spalte in ein dunkles Zimmer geleitet und

dasselbe zehn Fuss hinter derselben mit einem Fernrohr aufgefangen, vor dessen Objectiv ein feines Gitter angebracht war. Nachdem das Licht durch das Ocular ausgetreten ist, hat man in der Mitte ein scharfbegrenztes weisses Licht, zu beiden Seiten dunkle Räume, dann die ersten Spectra u. s. w. Die schwarze Kugel eines Leslie'schen Thermometers wurde zuerst in die Mitte, dann in die dunklen Räume und endlich in die ersten Spectra gebracht.

Obgleich nun die strahlende Wärme dieselben Veränderungen wie das Licht erleidet, kann man durchaus nicht annehmen, dass Wärme und Licht identisch seien; denn eines Theils deutet die Art und Weise, wie die Wärme im Sonnenspectrum vertheilt ist, eine wesentliche Verschiedenheit an, anderen Theils ist von Melloni eine Trennung der Wärme von dem Licht bewerkstelligt worden.

Melloni leitete terrestrisches Licht und Sonnenlicht durch eine Wasserschicht, die sich zwischen zwei durch Kupferoxyd grün gefärbten Glasplatten befand. War die Schicht hinlänglich dick, so wurden alle Wärmestrahlen so vollständig absorbirt, dass die hindurchgegangenen Lichtstrahlen, sobald sie durch eine Linse concentrirt worden waren, auf ein empfindliches Thermoskop keine Wirkung äusserten. Schwarzer Glimmer und schwarzes Glas lassen hingegen nur Wärmestrahlen, nicht aber Lichtstrahlen hindurch.

Das Schmelzen und das Verdampfen.

Die Materie tritt in drei verschiedenen Zuständen auf, nämlich in dem starren oder festen, dem tropfbarflüssigen und in dem gasförmigen Zustande. Wie es scheint, ist kein Körper ausschliesslich an einen von diesen drei Aggregatzuständen gebunden; sein Aggregatzustand ist vielmehr abhängig von der Temperatur, welcher er ausgesetzt ist. Bei der niedrigsten Temperatur sind alle Körper fest, bei höherer verwandeln sie sich in Flüssigkeiten, und bei noch höherer werden die letzten gasförmig. Die Temperaturen, bei welchen die Körper in andere Aggregatzustände übergeführt werden, sind sehr verschieden, für einen und denselben Körper sind sie aber stets die nämlichen.

Wird ein starrer Körper dem anhaltenden Einflusse einer Wärmequelle ausgesetzt, so verlieren seine Theilchen ihren Zusammenhang und seine Temperatur nimmt bis zu einem gewissen Punkte zu, bei welchem er anfängt in den tropfbarflüssigen Zustand überzugehen. Diesen Punkt nennt man den Schmelzpunkt. Bei einzelnen Körpern zeigt sich vor dem Schmelzen ein eigenthümlicher Zwischenzustand, so dass es oft schwer zu unterscheiden ist, ob sie fest oder flüssig sind.

Folgende Tabelle enthält die Schmelzpunkte mehrerer Körper:

Gehämmertes engl. Eisen	1600°	4 Th. Wismuth, 3 Th. Blei,	125°
Weiches franz. Eisen	1500°	3 „ „ 2 „ „	122°
Strengflüssiger Stahl	1400°	8 „ „ 5 „ „ 3 Th. Zinn	100°
Leichtflüssiger Stahl	1300°	3 „ „ 2 „ „ 2 „ „	96°
Graues Gusseisen	1200°	4 „ „ 1 „ „ 1 „ „	94°
Weisses Gusseisen	1050°	Schwefel	115°
Gold	1250°	Jod	107°
Silber	1000°	Selen	102°
Bronze	900°	Natrium	90°
Antimon	432°	Kalium	58°
Zink	360°	Phosphor	44°
Blei	334°	Stearinsäure	70°
Salpetersaures Kali	339°	Weisses Wachs	68°
Kadmium	320°	Gelbes Wachs	61°
Wismuth	268°	Stearin	49°
Zinn	229°	Wallrath	49°
Legirungen:		Butter	32°
5 Th. Zinn, 1 Th. Blei	194°	Essigsäure	45°
3 „ „ 1 „ „	183°	Phosphorsaures Natron	36°
2 „ „ 1 „ Kadmium	174°	Chlorcalcium	29°
9 „ „ 2 „ Blei, 1 Th. Zink	168°	Eis	0°
1 „ Wismuth, 1 Th. Kadmium	146°	Terpentinöl	— 10°
2 Th. Zinn, 1 Th. Blei, 1 Th. Wismuth	145°	Quecksilber	— 39°
3 „ Zinn, 2 „ Wismuth	136°	Ammoniak	— 42°
4 „ Zinn, 3 „ Wismuth	135°	Aether	— 44°

Wie gross der Einfluss des krystallisirten und des amorphen Zustandes auf die Schmelzbarkeit ist, hat Wöhler gezeigt:

	schmilzt	
	krystallisirt bei:	amorphirt zwischen:
Zucker	160°	90—100°
Amygdalin	200°	125—130°
Sylvinsäure	140°	90—110°
Lithofellinsäure	205°	105—110°.

Es ist hervorzuheben, dass häufig Metalllegirungen einen niedrigeren Schmelzpunkt haben, als ein jedes der einzelnen Metalle für sich; etwas ähnliches findet statt, wenn man kohlensaures Natron mit kohlensaurem Kali, oder Kochsalz mit Schnee mengt.

Gebundene oder latente Wärme. Bei dem Schmelzen ist die Thatsache wohl zu beobachten, dass während des Schmelzprocesses ein grosser Theil der Wärme verschwindet. Von dem Augenblicke an, wo das Schmelzen anfängt, steigt die Temperatur des schmelzenden Körpers nicht mehr, wie gross auch die Menge

der zuströmenden Wärme sein möge, und erst, nachdem die ganze Masse geschmolzen ist, bemerkt man ein Steigen der Temperatur des geschmolzenen Körpers. Diejenige Wärmemenge, welche dazu dient, um den Körper zu schmelzen, in denselben übergeht und unbemerkt wird, heisst gebundene oder latente Wärme (vergl. Seite 13). Diese Wärmemenge ist bei verschiedenen festen Körpern eine sehr verschiedene; sie ist, nach Irvine, beim Wachs 80, beim Blei 90, beim Zink 274, beim Zinn 278, beim Wismuth 305 Wärmeeinheiten, wenn man als Einheit diejenige Wärmemenge annimmt, welche erforderlich ist, um die Temperatur von einem Pfunde Wasser um 1° zu steigern.

Der tropfbarflüssige Zustand wird stets auf Kosten derjenigen Wärme hervorgebracht, die ein fester Körper beim Uebergange in den flüssigen Zustand bindet, der flüssige Zustand mag nun durch Erwärmung oder durch ein Lösungsmittel hervorgebracht worden sein. Bei jeder Lösung findet eine Temperaturerniedrigung statt, woraus hervorgeht, dass ein Theil der früher frei vorhandenen Wärme nun gebunden worden ist. Man nennt deshalb diejenige Wärme, die den flüssigen Zustand erzeugt, auch Flüssigkeitswärme (vergl. S. 14). Auf der erwähnten Temperaturerniedrigung beruhen die sogenannten Frostgemische oder Kältemischungen. Die gewöhnlichsten derselben sind folgende:

Bei einer Mischung von	fällt die Temperatur
gepulvertem schwefelsauren Natron mit Salzsäure	von + 10° auf — 17°
5 Th. Salmiak, 5 Th. Salpeter, 19 Th. Wasser	„ + 10° „ — 12°
1 Th. Kochsalz, 3 Th. Schnee	„ 0° „ — 17°,7
3 Th. Chlorcalcium, 2 Th. Schnee	„ 0° „ — 28°
1 Th. verdünnte Schwefelsäure, 1 Th. Schnee	„ — 7° „ — 51°
salpetersaurem Ammoniak und Wasser	„ 0° „ — (?)
Rhodankalium (Schwefelcyankalium) und Wasser	„ 0° „ — 40°.

Die Temperaturerniedrigung tritt auch ein bei dem Mengen von Substanzen, die kein Wasser enthalten; so sinkt die Temperatur von 204 Th. Bleiamalgam (aus 103 Blei und 101 Quecksilber bestehend) mit 172 Th. Wismuthamalgam (aus 71 Wismuth und 101 Quecksilber bestehend) von + 20° auf 1°; setzt man hierzu noch 202 Th. Quecksilber, so sinkt die Temperatur auf — 8°. Löst man ein Gemenge von 59 Th. Zinn, 103,5 Th. Blei und 182 Th. Wismuth in 808 Th. Quecksilber auf, so sinkt die Temperatur von + 17,5° auf — 10°.

Die Wärme wird frei beim Uebergange der Körper aus dem tropfbarflüssigen Zustande in den festen. So kann Wasser unter gewissen Bedingungen bis auf — 10° abgekühlt werden, ohne zu

erstarren; eine Erschütterung desselben bewirkt ein plötzliches Erstarren der ganzen Masse und ein Freiwerden der gebundenen Wärme. Hatte man vorher in das Wasser die Kugel eines Thermometers getaucht, so steigt es in dem Augenblicke des Erstarrens auf 0°. Auf gleiche Weise wird Wärme frei, wenn Wasser mit irgend einem Stoffe eine feste Verbindung eingeht, so z. B. wenn sich Wasser mit Aetzkalk, mit Aetzbaryt u. s. w. verbindet.

Die Ursache der Temperaturerhöhung, welche oft die chemische Verbindung begleitet, ist nicht bekannt. Aus einer Veränderung der Wärmecapacität der Bestandtheile kann dieselbe nicht abgeleitet werden, weil in vielen Fällen eine bedeutende Temperaturerhöhung eintritt, obwohl die specifische Wärme der Verbindung gleich oder gar grösser ist, als die der Bestandtheile. Das Freiwerden der Wärme in Folge des Aggregatzustandes kann eben so wenig als die Ursache der Wärmeentwickelung angesehen werden, da in vielen Fällen das Product der Verbindung fester Körper gasförmig ist, und dabei doch eine bedeutende Temperaturerhöhung eintritt.

Das Verdampfen. Wenn eine tropfbare Flüssigkeit erwärmt wird, so wird sie ausdehnsam und unsichtbar wie ein Gas. In diesem Zustande nennt man die Flüssigkeit Dampf (vergl. S. 434). Die Temperatur, bei welcher eine Flüssigkeit siedet, oder der Siedepunkt, ist abhängig von dem auf ihr lastenden Drucke und von ihrer Natur. Das Verdampfen oder das Verdunsten einer Flüssigkeit findet statt entweder unter oder bei der Siedehitze. Damit ist jederzeit ein Binden von Wärme verknüpft, das im ersten Falle sich durch ein Erkalten der verdunstenden Flüssigkeit, im zweiten Falle durch ein Stationärwerden der Temperatur, ungeachtet des fortdauernden Wärmezuflusses, zu erkennen giebt. Die zum Uebergange aus dem tropfbaren Zustande in den gasförmigen nothwendige Wärme nennt man Verdunstungswärme (vergl. S. 44). Für Dämpfe verschiedener materieller Beschaffenheit ist diese Wärme eine verschiedene. Brix fand für die latente Wärme der Dämpfe nachstehender Flüssigkeiten folgende Werthe:

Wasser	540
Alkohol	214
Aether	90
Terpentinöl	74.

Die latente Wärme der Dämpfe ist für verschiedene Temperaturen ungleich, und grösser für niedrige, geringer für höhere Temperaturen. Die latente Wärme des Wasserdampfes von 100° ist gleich 540°; addirt man hierzu die freie Wärme, so hat man 640°,

und diese Summe gilt für Dämpfe von jeder Temperatur, wenn man deren freie und gebundene Wärme addirt. Ist die Temperatur des Dampfes = t, so wird die latente Wärme des Wassers ausgedrückt durch 640° — t.

Erscheinungen, die das Binden von Wärme beim Verdunsten oder Verdampfen erkennen lassen, sind Seite 143 angeführt.

Theoretische Ansicht über die Natur der Wärme.

Zieht man alle bisher beschriebenen Wärmeerscheinungen in Betracht, berücksichtigt man vorzüglich die verschiedene Wärmemenge, die in den Körpern angehäuft ist, und die verschiedene Capacität der Körper für die Wärme, so wird man zu der Annahme veranlasst, dass die Wärme etwas Körperliches, etwas Materielles sei. Nimmt man nun an, es gebe einen Wärmestoff, so muss derselbe nothwendiger Weise auch in Körpern von der niedrigsten Temperatur existiren und in jedem Körper einen gewissen Grad von Expansivkraft besitzen, der abhängig ist von seiner Anhäufung und von der Grösse der Anziehung, die zwischen ihm und dem Körper stattfindet. Bringt man einen erwärmten Körper in die Nähe eines kälteren, so strömt von dem ersteren in den zweiten Wärme über, bis der Wärmestoff in beiden Körpern die gleiche Ausdehnsamkeit besitzt; der eine Körper wird daher abgekühlt; während der andere sich erwärmt. Der Wärmestoff tritt auf als mächtiger Gegner der Cohäsion; in den festen Körpern ist die Cohärenz der Expansivkraft des Wärmestoffes übergeordnet; durch Anhäufung des letzteren wird aber die Cohärenz so vermindert, dass endlich die Theile ihren Zusammenhang verlieren; man sagt dann: der Körper schmilzt. Nach vollständigem Schmelzen bedarf der Körper eine neue Menge Wärmestoff, damit die Expansivkraft des letzteren die Cohärenz vollständig überwiege und der Körper verdampfe.

Die Erklärung der meisten Wärmephänomene hat nach der Hypothese, dass der Wärmestoff etwas Materielles sei, durchaus nichts schwieriges. Die Leichtigkeit aber, mit welcher die Erscheinungen der Wärme dem gewöhnlichen Verstande begreiflich gemacht werden können, ist wohl nur das einzige, wodurch diese Hypothese sich empfiehlt; denn, abgesehen davon, dass der Wärmestoff noch nicht isolirt dargestellt werden konnte, dass er nicht die Eigenschaften materieller Dinge besitzt, ist die Annahme desselben nicht einmal zur Erklärung aller Erscheinungen der Wärme ausreichend.

Wohl aber lassen sich die mechanischen Erscheinungen der Wärme, welche denen des Lichtes und des Schalles ganz ähnlich sind, auf bessere und vollständigere Weise, als durch die Annahme eines Wärmestoffes erklären, wenn man eine Undulationstheorie der Wärme, welche der Undulationstheorie des Lichtes entspricht, gelten lässt. Dieser Theorie zufolge nimmt man einen eigenthümlichen unwägbaren Stoff, einen Aether, an, der durch den ganzen Weltraum verbreitet sei, und in welchem sich Wellenbewegungen fortpflanzen, die den Eindruck von Wärme hervorbringen. Mit dem Lichte hat die Wärme das gemein, dass beide sich oft begleiten, strahlend fortgepflanzt werden, auf gleiche Weise modificirt werden und den nämlichen Gesetzen folgen; mit dem Schall dagegen stimmt die Wärme darin überein, dass beide durch Erschütterung der Moleküle erregt werden, sich strahlend fortpflanzen und auf ihrem Wege unter gleichen Bedingungen auf ähnliche Weise modificirt werden.

Ein Schallstrahl ist einem Wärmestrahle zu vergleichen, einem tönenden Körper ein warmer, einem mittönenden ein erwärmter. Die Annahme, dass die Wärme, ähnlich dem Lichte und dem Schalle, durch Vibrationen fortgepflanzt werde, ist daher eine gerechtfertigte.

Die Wärmestrahlen pflanzen sich im leeren Raume fort. Die denselben zu Grunde liegenden Schwingungen können daher nicht eine materielle Base haben, und man muss deshalb bei der Wärme ebenso, wie bei dem Licht, den Aether als das Substrat der Wärmeschwingungen betrachten. Die Aehnlichkeit der Erscheinungen der Wärme und des Lichtes geht aus der Existenz polarisirter Wärmestrahlen hervor, welche ebenso wie die polarisirten Lichtstrahlen transversal schwingen müssen. Durch andere Analogien wird es wahrscheinlich gemacht, dass die Schwingungen des Lichtes und der Wärme dieselben sind, und dass sich dieselben nur durch die Länge der Welle und durch ihre Stärke von einander unterscheiden. Die Lichtstrahlen entstehen durch solche Schwingungen des Aethers, die im Stande sind, die Netzhaut des Auges in eigenthümliche Schwingungen zu versetzen, Wärmestrahlen dagegen, wenn den Molekülen der Körper, welche von den Vibrationen afficirt werden, eine bestimmte Bewegungsgrösse mitgetheilt wird. Etwas ähnliches findet man bei den chemisch wirkenden Strahlen, deren Vibrationen die Körpertheilchen so stark erschüttern, dass eine Trennung derselben erfolgt. Ein Strahl kann daher zu gleicher Zeit Wärmestrahl, Lichtstrahl und chemisch wirkender Strahl sein; ein Strahl kann leichter Wärme, als Licht und chemische Wirkung hervorbringen; derselbe kann ferner, indem er durch Körper hin-

durchgeht, so modificirt werden, dass er nach dem Austritt aus dem Körper weder Licht- noch chemische Wirkungen hervorzubringen im Stande ist.

Aus dem eben Angeführten geht hervor, dass geleitete Wärme das Resultat der Grösse der den Molekülen eines Körpers durch die Vibrationen des Aethers mittgetheilten schnellen Bewegung dieser Moleküle ist. Diese Bewegung der Materie trägt sich auf den im Zwischenraume befindlichen Aether über, welcher wiederum andere materielle Theilchen in Bewegung setzt. Die Grösse der Bewegung giebt die Wärmemenge, die Schwingungsweite der Körpertheilchen die Temperatur. Ist die Bewegungsgrösse eines Körpers bedeutend bei kleiner Schwingungsweite, so hat der Körper eine grosse Wärmecapacität. Bleibt die Bewegungsgrösse dieselbe, wird aber die Schwingungsweite vergrössert, so vergrössert sich auch die Wärmeintensität und es wird Wärme frei; in dem entgegengesetzten Falle wird Wärme gebunden.

Quellen der Wärme.

Die hauptsächlichsten Quellen der Wärme auf der Erde sind:

1) die Sonne;
2) der Stoss und die Reibung;
3) die Elektricität;
4) die chemischen Wirkungen;
5) der Lebensprocess.

1) Die wichtigste der Wärmequellen ist die Sonne. Die Erwärmung, welche durch dieselbe auf der Erde hervorgebracht wird, ist um so grösser, je mehr der Winkel, unter welchem die Strahlen auf die Erde auffallen, sich einem rechten nähert. Die Wirkung der Wärme nimmt deshalb mit dem Steigen der Sonne zu und ist im Sommer grösser als im Winter. Unter dem Aequator wird die Erdoberfläche zweimal im Jahre rechtwinklig von den Sonnenstrahlen getroffen, und in der übrigen Zeit unter einem Winkel, welcher einem rechten fast gleich kommt. Die Wärme ist deshalb unter dem Aequator ziemlich gleichmässig vertheilt und man nimmt die verschiedenen Jahreszeiten nicht wahr. Je weiter man sich aber vom Aequator entfernt, desto stärker treten die Unterschiede zwischen Tag und Nacht hervor, und der Unterschied zwischen der Temperatur des Sommers und des Winters wird um so grösser. Die Wirkung der Sonnenstrahlen ist aber ausser durch ihre Entfernung vom Aequator noch von anderen Umständen abhängig, unter denen wesentlich die Beschaffenheit des Bodens, die Gestal-

tung des Meeres und Landes, die Richtung und Höhe der Gebirgszüge und die herrschenden Winde zu erwähnen sind.

Die Erwärmung, die ein Körper durch die Sonnenstrahlen erleidet, ist aber auch abhängig von der Menge der Strahlen, die von dem Körper absorbirt werden. Setzt man zwei gleiche Thermometer, von denen das eine eine mit Russ geschwärzte Kugel hat, den Sonnenstrahlen aus, so steigt das Thermometer mit der schwarzen Kugel weit höher, als das andere. Bringt man verschieden gefärbte Tuchläppchen auf Schnee, so schmilzt dieser, wenn die Sonne auf den Schnee scheint, zuerst unter den Tuchläppchen. Es ist bekannt, dass schwarze Kleider im Sommer wärmer sind, als hellgefärbte, dass schwarz angestrichene Wände sich weit mehr erwärmen, als weiss oder hell angestrichene. Die Hauptwirksamkeit des Humus im Ackerboden bei der Vegetation ist zu einem guten Theile seiner dunklen Farbe zuzuschreiben, wodurch die Erwärmungsfähigkeit des Bodens erhöht wird.

Die Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche, wie sie aus der Einwirkung der Sonne und durch den Einfluss der oben erwähnten Verhältnisse folgt, lässt sich am besten dadurch übersehen, dass man die Orte auf der Erdoberfläche von gleicher mittlerer Temperatur durch Linien verbindet, die man isothermische Linien (Isothermen; vergl. S. 217) nennt. Diese zuerst von Humboldt ausgeführten Curven sind nicht nur von der geographischen Breite, sondern auch von der physikalischen Beschaffenheit des Ortes abhängig. Die Oberfläche des Bodens verändert die mittlere Temperatur hauptsächlich durch die Verschiedenheit der Einstrahlung und Ausstrahlung. Küsten, denen durch vorzugsweise Verbindungsmittel von Gegenden grösserer Kälte eine andere Temperatur zugeführt wird, wie durch den Golfstrom, haben überhaupt eine niedrigere Jahrestemperatur, und es lässt sich der Satz aufstellen, dass die Isothermen in Amerika sich immer mehr dem Aequator nähern, als in Europa. Derjenige Punkt, für welchen die Jahrestemperatur ein Maximum ist, fällt nicht mit dem tellurischen Nordpole zusammen.

Ein genaueres Bild vom Klima eines Ortes erhält man durch zwei Arten von Curven, von welchen die einen die Punkte gleicher mittlerer Sommerwärme verbinden (Isotheren), die anderen die Punkte gleicher Winterwärme (Isochimenen). Die Abweichung derselben von den Isothermen ist im Continentalklima grösser als im Seeklima.

Wenn man die Punkte gleicher Erdwärme mit einander verbindet, so erhält man die Isogeothermen, welche von allen

übrigen Curven wieder abweichen. Im Allgemeinen liegen die Isothermen dem Pole näher, als die Isogeothermen gleicher Temperatur; für 15° treffen sie ziemlich zusammen, noch südlicher liegen die Isothermen dem Aequator sogar näher.

Die Wärme dringt von der Oberfläche der Erde nur sehr langsam ins Innere ein, weil der Boden eine sehr unbedeutende Leitungsfähigkeit besitzt. Daher kommt es aber auch auf der andern Seite, dass in geringer Tiefe die Schwankungen der Temperatur weit weniger bemerkbar sein müssen, als auf der Oberfläche, und dass in grösserer Tiefe die Schwankungen selbst gänzlich verschwinden müssen. Bei uns sind schon die täglichen Schwankungen in einer 3—4 Zoll überschreitenden Tiefe unmerklich; über 70 Fuss hinaus verschwinden selbst die jährlichen Schwankungen.

Im Innern der Erde, von dem Punkte an, wo die jährlichen Schwankungen verschwinden, nimmt die Temperatur zu. Es geht dies aus den Bestimmungen hervor, die man mit artesischen Brunnen angestellt hat; diese Bestimmungen gehen jedoch nirgends über 1600 Fuss tief von der Oberfläche herab. Als Mittel aus allen Beobachtungen hat man ein Wachsen von 1° C. auf 100 Fuss gefunden.

Diesen Messungen lässt sich als Beweis für die Zunahme der Erdwärme nach Innen die Temperatur vieler Quellen beigesellen, die aus grösseren Tiefen entspringen, und also eine Temperatur besitzen, welche diesen Tiefen entspricht, so weit sie nicht auf ihrem Wege nach der Erdoberfläche einen Theil dieser Wärme an kältere Gesteinschichten abgegeben haben. Aus der Temperatur einer Quelle lässt sich das Maximum berechnen, aus welcher sie heraufkommt.

Man hat die Beobachtung gemacht, dass die Temperatur des Meeres nach der Tiefe hin abnimmt, und zwar in der grössten bis jetzt erreichten Tiefe bis wenige Grade über 0°. Aus diesem Umstande hat man einen Widerspruch mit der zunehmenden Temperatur sehen wollen. Diese Erscheinung beruht aber auf dem Umstande, dass die dem Meeresgrunde zunächst liegenden Wasserschichten im Verhältniss ihrer Erwärmung sich ausdehnen, aufsteigen und sodann immer dichtere und kältere an ihre Stelle nachsinken lassen, so dass dann die dichtesten Schichten auch die tiefsten Stellen einnehmen. Das Dichtigkeitsmaximum des Meerwassers ist bei — 3,67°. Eine Abkühlung bis zur Bildung und Ansammlung von Eis auf dem Meeresgrunde kann also auf diesem Wege nie eintreten, weil das Eis beträchtlich leichter ist, als das Meerwasser.

Wenn die Temperatur des Erdkörpers in dem eben angegebenen Masse von der Oberfläche an zunimmt, so muss die Wärme schon

in der verhältnissmässigen Tiefe von einigen Meilen unter der Erdoberfläche hinreichend sein, um die Erde in einem flüssigen Zustande zu erhalten. Wegen der geringen Leitungsfähigkeit der Erdoberfläche bemerken wir nicht, dass in der Mitte des Erdkörpers alle Körper sich im geschmolzenen Zustande befinden. Schliesst man aus der Zusammenziehung der Erde auf ihre Abkühlung, so gelangt man zu dem Resultate, dass die jetzige Temperatur der Erdrinde so gut wie keine Veränderung mehr erleide.

Laplace hat aus der seit Hipparch (griech. Astronom aus Nikäa, starb 125 v. Chr.) gleichbleibenden Länge des Tages die gleichbleibende Ausdehnung der Erde und daraus die jetzt gleichbleibende Temperatur derselben gefolgert, so dass in der Zeit von 2000 Jahren die Abkühlung nicht 0,5° C. betragen haben könnte.

Setzt man, nach Arago, die Zusammenziehung der ganzen Erdmasse beim Erkalten nur so gross als beim Glase, nämlich 0,001 für 100 Grad, so würde eine Abkühlung der ganzen Erdmasse um 1,25° C. den Durchmesser der Erde um 0,00001 verkleinert, folglich ihre Rotationsgeschwindigkeit vergrössert und den Tag um 1,728 Secunden verkürzt haben. Da aber die Verkürzung des Tages nicht 0,01 beträgt, so kann die Abkühlung der Erdmasse für die 2000 Jahre nicht einmal 0,00725° C. ausmachen. Die wirkliche Abnahme um 1,25° C. würde daher bei gleichbleibender Progression mindestens 344,828 Jahre erfordern.

Dem Weltraum wird eine eigenthümliche Temperatur zugeschrieben; aus der bedeutenden Erkaltung der Erdoberfläche durch die nächtliche Strahlung lässt sich schliessen, dass diese Temperatur sehr gering sei. Nach Pouillet soll der Weltraum eine Temperatur von — 140° haben. Um die Temperatur zu beobachten, welche von dem Weltraum und den die Atmosphäre bildenden Luftschichten dem Thermometer mitgetheilt wird, benutzte Pouillet das Aktinometer, das aus einem horizontal liegenden Thermometer bestand, das durch Schwanenfell gegen alle Wärmezuleitung hinreichend geschützt war. Dieses Instrument wurde während der Nacht der Strahlung des Himmels ausgesetzt und stündlich das Thermometer desselben und ein in der Nähe befindliches, frei hängendes Thermometer beobachtet.

2) Erzeugung von Wärme durch Reibung und Stoss. Eine sehr reichhaltige Quelle der Wärme ist die Reibung. Bekanntlich erhitzen sich eiserne Werkzeuge, wie Sägen, Bohrer, Maschinenzapfen u. s. w. beim Gebrauche ausserordentlich stark; schnell aneinander geriebene Stücken Holz können sich entzünden. Die beim Reiben frei werdende Wärmemenge ist unabhängig von der Wärmeleitung und Wärmecapacität der geriebenen Körper, abhängig aber von der Kraft, mit welcher beide Körper aneinander gerieben werden.

Rumford erhitzte mehrere Pfunde Wasser bis zum Sieden durch die beim Ausbohren eines gusseisernen Cylinders frei werdende Wärme. Davy schmolz zwei Stücke Eis dadurch, dass er sie unter der Luftpumpe sich an einander reiben liess, obgleich die Temperatur der Luftpumpe und der umgebenden Luft unter 0° war. — Es wurde von Haldot beobachtet, dass, wenn der reibende Körper rauh ist, sich nur halb so viel Wärme entwickelt, als wenn derselbe glatt ist. Durch Anwendung eines vierfachen Druckes auf den reibenden Körper wurde die Menge der entwickelten Wärme versiebenfacht. Bei der Reibung von Flüssigkeiten auf einander, oder bei der Reibung von Gasen auf Flüssigkeiten und starren Körpern tritt keine Wärme auf.

Stoss und Druck liefern ebenfalls nicht unbedeutende Mengen von Wärme; gewisse chemische Präparate (die knallsauren Salze, Gemenge von chlorsaurem Kali mit Schwefel, Nitromannit) bedürfen zur Entzündung nur eines kräftigen Schlages. Eine Eisenstange kann durch Hämmern bis zum Glühen erhitzt werden. Münzen werden beim Prägen beträchtlich erwärmt. Bei der Benutzung des Feuerstahls und Feuersteins als Feuerzeug werden durch den Stoss Stahlstückchen losgerissen und bis zum Schmelzen erhitzt. Presst man Gase schnell bis ungefähr auf ein Fünftel ihres früheren Volumens zusammen, so erhitzt sich dasselbe so sehr, dass ein Stück Schwamm sogleich entzündet wird.

Hierauf beruht das sogenannte Compressionsfeuerzeug, das aus einem hohlen metallenen Cylinder und einem darin luftdicht auf und ab bewegbaren Stempel besteht, an dessen unterem Ende ein Häkchen ist, woran Schwamm befestigt wird. Ist der Cylinder von Glas, so sieht man bei dem Versuche im Innern eine Lichterscheinung.

Durch Druck und Stoss erhöht sich das specifische Gewicht der Körper, während die Wärmecapacität sich verringert und ein Theil der specifischen Wärme frei gemacht wird. Die ersten Stösse bewirken die grösste Verdichtung und die grösste Temperaturerhöhung. Körper, welche, wie die tropfbaren Flüssigkeiten, keine merkliche Verdichtung erleiden können, werden auch durch Druck nicht erwärmt. Alle festen Körper, namentlich organische, erleiden durch Benetzen mit Flüssigkeiten eine Temperaturerhöhung.

Eben so, wie durch Verdünnung eines Körpers Kälte entsteht, muss alle Verdichtung Wärmeentwickelung zur Folge haben. Bringt man ein dünnes Kautschukplättchen auf die Lippen und dehnt dasselbe durch einen schnellen Zug nach Innen aus, so empfindet man Kälte. Presst man Luft in einem Gefässe zusammen und lässt dieselbe, nachdem sie sich abgekühlt hat, durch ein feines Rohr entweichen, so erkaltet sie so, dass eine kleine Menge Wasser zum Gefrieren gebracht werden kann. Die aus dem Sicher-

heitsventile eines Dampfkessels ausströmenden, stark gespannten Wasserdämpfe sind kalt.

3) Dass durch Elektricität Wärme erzeugt werden könne, ist in dem Capitel von der Elektricität häufig erwähnt worden: wir sehen, dass leicht entzündliche Körper durch den elektrischen Funken entzündet werden; wir haben ferner in der Elektricität ein Mittel, Körper, wie Kohle, die auf keine andere Weise in einen anderen Aggregatzustand übergeführt werden können, zu schmelzen und zu verflüchtigen.

4) Nächst der Sonne haben wir in den chemischen Wirkungen die kräftigsten Mittel, um Wärme zu erzeugen. Wenn zwei Körper mit einander eine chemische Verbindung eingehen, so findet stets Wärmeentwickelung statt. Von den unzähligen Beispielen seien folgende erwähnt: Gebrannter Kalk erhitzt sich mit Wasser zusammengebracht, indem sich Kalkhydrat bildet (Löschen des Kalkes); Kalk, Baryt und Strontian zeigen, wenn man sie mit concentrirter Schwefelsäure übergiesst, ein Erglühen; dasselbe findet beim Uebergiessen von frisch dargestelltem Aetzbaryt mit Wasser statt. Terpentinöl wird durch rauchende Schwefelsäure, Wachholderöl durch Jod entzündet. Wenn man chlorsaures Kali mit etwas concentrirter Schwefelsäure befeuchtet, so wird so viel Wärme erzeugt, dass Schwefel angezündet werden kann. (Auf diesem Vorgange beruht die Anwendung der jetzt ausser Gebrauch gekommenen Tauchzündhölzchen.)

Die Lösung eines krystallisirten Salzes in Wasser ist fast immer von einer Absorption von Wärme begleitet. Wenn gleiche Gewichte desselben Salzes nach einander in derselben Flüssigkeit gelöst werden, so ist die absorbirte Menge bei jedem neuen Zusatz von Salz geringer. Die Wärme, welche bei der Lösung eines Salzes in einem anderen Salze schon gelöst gehaltenen Wasser absorbirt wird, ist im Allgemeinen kleiner als die, welche bei seiner Lösung in reinem Wasser absorbirt wird; grösser ist dagegen die Wärme, die bei der Lösung eines Salzes in einer verdünnten Mineralsäure absorbirt wird, als die, die durch die Lösung desselben in reinem Wasser absorbirt wird.

Interessant sind die constanten Zahlenverhältnisse, welche nach Hess bei der Verbindung zusammengesetzter Substanzen in Bezug auf die entwickelte Wärmemenge stattfinden. Bezeichnet man mit 2A diejenige Wärmemenge, die bei der Verbindung von 1 Aeq. englischer Schwefelsäure (SO_3, HO) mit 1 Aeq. Wasser (HO) frei wird, so sind nach Hess die bei der Bildung der anderen Hydrate frei werdenden Wärmemengen:

$$SO_3 + HO = 8A$$
$$SO_3, HO + HO = 2A$$
$$SO_3, 2HO + HO = A$$
$$SO_3, 3HO + 3HO = A$$
$$SO_3, 6HO + xHO = A.$$

Den Werth für A fand Hess zuerst = 38,85, in späteren Versuchen = 46,94. Abria fand andere Zahlen, fand aber bestätigt, dass die Zahlen in einfachen Verhältnissen zu einander stehen.

In Bezug auf die bei den Verbindungen von Basen mit Säuren entwickelten Wärmemengen hat Andrew folgende Specialgesetze aufgestellt: 1) Ein Aequivalent derselben Base, verbunden mit verschiedenen Säuren, erzeugt fast dieselbe Wärme; 2) Ein Aequivalent derselben Säure, verbunden mit verschiedenen Basen, erzeugt verschiedene Mengen von Wärme; 3) Ein neutrales Salz, das durch Zusatz von einem oder mehreren Säureaequivalenten in ein saures Salz verwandelt wird, zeigt keine Wärmeentwickelung; 4) Dasselbe ist der Fall, wenn ein Doppelsalz durch Vereinigung zweier neutraler Salze erzeugt wird; 5) Wenn ein neutrales Salz in ein basisches verwandelt wird, so wird bei der Verbindung Wärme frei; 6) Wenn eine und dieselbe Base eine andere aus irgend einer neutralen Verbindung ausscheidet, so ist die entwickelte oder absorbirte Wärmemenge stets dieselbe, welche auch die in dem Salz vorhandene Säure sein mag; 7) Einige Basen (Kali, Natron, Baryt, Strontian), die man eine isothermale Gruppe nennen kann, entwickeln bei ihrer Verbindung mit einer Säure dieselbe oder fast dieselbe Wärmemenge, aber keine Wärme bei ihrer gegenseitigen Ausscheidung.

Der Act der chemischen Verbindung des Sauerstoffs oder einiger anderen nicht metallischen Elemente mit einem anderen Körper ist ein Phänomen, das in vielen Fällen von Licht- und Wärmeentwickelung begleitet ist. Wir bezeichnen dasselbe mit dem Namen Verbrennung. Zur Einleitung des Verbrennungsprocesses ist eine gewisse Temperaturerhöhung nothwendig, die bei den verschiedenen Körpern nicht dieselbe ist. Einige Körper haben im feinzertheiltem Zustande die Eigenschaft, sich an der Luft von selbst zu entzünden. Man nennt solche Körper Pyrophore oder Selbstzünder.

Pyrophorische Körper sind die metallischen Pulver des Nickels, Kobalts und Eisens, die aus ihren Oxyden durch Wasserstoff erhalten werden. Der sogenannte Homberg'sche Pyrophor wurde durch Glühen von Alaun mit Mehl dargestellt, in welchem Falle der Alaun durch das darin enthaltene schwefelsaure Kali wirkt, welches durch die Einwirkung der Kohle des Mehls zu Schwefelkalium reducirt wurde und in fein zertheilter Gestalt zwischen den Thonerdeatomen liegt. Fein zertheilte Kohle kann sich ebenfalls von selbst entzünden. Körper, die in compacter Masse, oder als Flüssigkeit, oder endlich als Gas, bei gewöhnlicher oder bei gesteigerter Temperatur, sich von selbst entzün-

den, sind: Kalium, Natrium, Phosphor, Schwefel, eine eigenthümliche Verbindung des Phosphors mit dem Wasserstoffgas (H_3P), das Kakodyloxyd u. s. w.

Diejenige Wärmemenge, welche bei einer Verbrennung frei wird, ist bestimmt und kann gemessen werden. Dies geschieht am einfachsten, indem man angiebt, wie viel Wasser durch diese Wärmemenge erhitzt wird, mithin bei der Verbindung der brennbaren Körper mit Sauerstoff, wie viele Gewichtstheile Wasser dadurch um 1° erwärmt werden. Um wie viele Grade eine bestimmte Quantität eines anderen Körpers dadurch erwärmt wird, lässt sich alsdann leicht aus der Wärmecapacität desselben berechnen. Die folgende Tabelle giebt eine Uebersicht der Wärmemengen, die bei der Verbindung verschiedener Brennstoffe mit Sauerstoff entwickelt werden. Die in der Spalte A enthaltenen Zahlen geben die Gewichtstheile von Wasser an, welche durch die Verbrennung von 1 Gewichtstheil Brennstoff um 1° erwärmt werden. Die Spalte B dagegen giebt die Gewichtstheile Wasser an, die um 1° erwärm werden, wenn 1 Gewichtstheil Sauerstoff mit der nöthigen Menge des Brennstoffes in Verbindung tritt.

Verbrannte Körper.	A.	B.
Wasserstoff	34792	3449
Kohle	7815	2967
Kohlenoxyd	1875	3031
Phosphor	4500	3552
Schwefel	2571	2571
Antimon	961	3875
Zink	1314	5290
Sumpfgas	13185	3296
Oelbildendes Gas	6600	1925
Alkohol	12030	3508
Aether	9431	3634
Steinöl	7335	2139
Terpentinöl	4500	1339
Campher	5250	1847
Baumöl	9862	
Rüböl	9500	
Talg	8570	
Eichenholz	2970	
Lindenholz	3480	
Steinkohle	4575—5625	
Torf	1200—1725	

Eine andere Bestimmung der Wärmemenge, die sich beim Verbrennen eines Brennmateriales entwickelt, beruht auf der Anwendung der Bleiglätte, mit der man das zu untersuchende Brennmaterial erhitzt und aus dem Gewicht des erhaltenen regulinischen Bleies einen Schluss auf den Werth des Brennmaterials zieht. Reine Kohle giebt 34 Th. Blei. Da nun nach der obigen Tabelle Kohle das 7815fache Gewicht Wasser um 1° erhitzen kann, so entspricht jeder durch ein Brennmaterial hervorgebrachte Theil 230 Wärmeeinheiten. Angenommen man hätte 1,2 Th. Koks mit Bleiglätte behandelt und 28,26 Th. metallisches Blei erhalten, so würde das Verhältniss des Brennwerthes dieses Koks zu dem der reinen Kohle sein, wie 5416 : 7815 (denn $\frac{1,2 : 28,26 = 1,0 : x}{x = 23,55 \times 230} = 5416$).

Eine höchst interessante Wärmequelle ist endlich 5) der Lebensprocess. Eine eigene, selbstständige, von den äusseren Umständen wenig abhängige Temperatur ist eine vom Lebensprocesse unzertrennliche Erscheinung. So beträgt die Temperatur eines erwachsenen Menschen unter allen Himmelsstrichen 37,5° C., die eines Kindes 39°, eines Vogels 40—41°, eines Flohes 1,5—2°. Da der thierische Körper an die Umgebung Wärme abgeben muss, so ist es nothwendig, dass die Erzeugung von Wärme mit der Abnahme der Temperatur der Umgebung wachse. Der Grund der Erzeugung von Wärme ist, nach Liebig's Untersuchungen, eine Folge der Verbindung des Kohlenstoffs und Wasserstoffs mit dem Sauerstoff der Luft zu Kohlensäure und Wasser. Die Wärmemenge, die sich hierbei bildet, ist nothwendiger Weise dieselbe, als ob die nämlichen Körper an der atmosphärischen Luft ausserhalb des Organismus verbrannt würden. Die Quelle der eigenen Wärme des Körpes ist demnach in der Respiration zu suchen. Die Respiration ist aber, wie aus dem Vorstehenden hervorgeht, wesentlich nichts anders als ein Verbrennungsprocess. Der durch die Respiration fortwährend ausgeschiedene Kohlenstoff und Wasserstoff wird dem Körper wieder durch die Nahrungsmittel zugeführt. Einige der Nahrungsmittel werden von der Lebensthätigkeit zur Neubildung der Körpermasse verwendet und dienen besonders zum Stoffwechsel. Solche Nahrungsmittel, die man plastische nennt, müssen stickstoffhaltig sein. Andere dagegen nehmen keinen Theil an dem Baue des Körpers, sondern werden nur zur Wärmeerzeugung verwendet; es sind dies solche Körper, die, wie Zucker, Gummi, Stärke und Fett, ihres Stickstoffmangels wegen kein Blut bilden können. Man nennt deshalb solche Nahrungsmittel wärmeerzeugende oder Respirationsnahrungsmittel. Unter gewissen Bedingungen werden aber auch diese Stoffe zum Baue des Körpers verwendet und dienen sodann zur Bildung von Fett. —

Aus dem Vorstehenden erklärt es sich, warum Thiere, die schnell athmen, eine höhere Temperatur besitzen, als andere; warum Bewegung erhöhte Wärmeentwickelung und Verlangen nach Speise zur Folge hat; warum der Bewohner kalter Länder mehr Speise zu sich nimmt, als der Bewohner heisser Länder; warum endlich bei nicht ausreichender Nahrung der Körper abmagert, d. h. das Fett, welches die zur Respiration nothwendigen Elemente enthält, verschwindet.

Auch bei den Pflanzen ist die Temperatur um so höher, je energischer der Lebensprocess ist, je lebendiger die Pflanze vegetirt. Ein Vegetabil nimmt nie ganz die Temperatur der Atmosphäre an. Die Temperatur der Bäume in unserem Klima ist im Winter höher, im Sommer niedriger als in der Luft. Es ist bekannt, dass keimende Samen Wärme erzeugen. Eine hohe Wärmeentwickelung ist von Senebier an der Blüthe des Arum maculatum beobachtet worden.

Ende.

Register.

A.

B.

C.

D.

E.

F.

G.

H.

I.

K.

L.

M.

N.

O.

P.

Q.

R.

S.

T.

U.

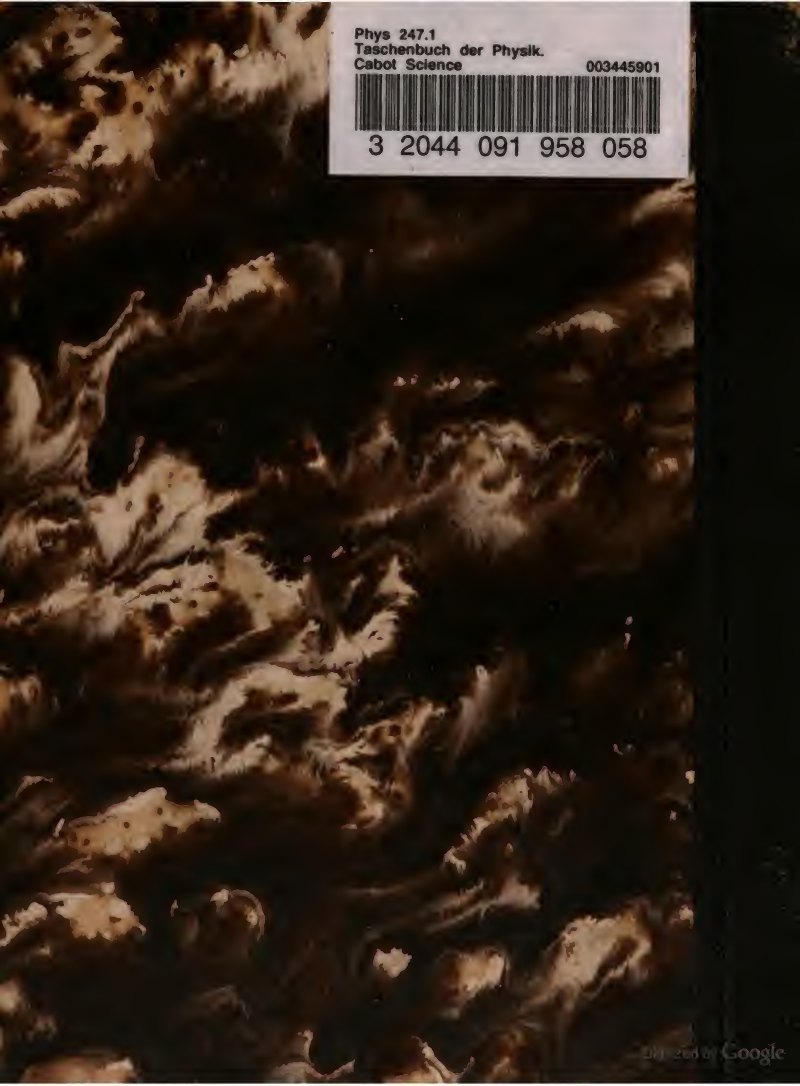
V.

W.

Z.

Druck von F. A. Brockhaus in Leipzig.




Phys 247.1
Taschenbuch der Physik.
Cabot Science
003445901
3 2044 091 958 058
Digitized by Google